



TUGAS AKHIR - RF141501

## PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (*SELF POTENTIAL*)

BAYU TAMBAK SAMUDRA  
NRP - 3712 100 016

Dosen Pembimbing

Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RF141501

## **PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (*SELF POTENTIAL*)**

BAYU TAMBAK SAMUDRA  
NRP - 3712 100 016

Dosen Pembimbing

DR. DWA DESA WARNANA  
NIP. 19760123 200003 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***





UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

## **NUMERICAL MODELING OF SELF POTENTIAL DATA**

BAYU TAMBAK SAMUDRA  
NRP - 3712 100 016

Advisors

DR. DWA DESA WARNANA  
NIP. 19760123 200003 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (SELF POTENTIAL)**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Geofisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 21 Januari 2017

Menyetujui :

Dosen Pembimbing,



Dr. Ewa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1001

Mengetahui :

Kepala Laboratorium  
Geofisika Teknik dan Lingkungan

Dr. Ir. Amien Widodo, M.S

NIP. 19591010 198803 1002

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (*SELF POTENTIAL*)” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Januari 2017

Bayu Tambak Samudra  
Nrp 3712100016

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (SELF POTENTIAL)

Nama Mahasiswa : Bayu Tambak Samudra  
NRP : 3712 100 016  
Jurusan : Teknik Geofisika ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana

## ABSTRAK

Masalah kuantitatif dalam metode potensial diri terkadang masih ditemukan. Beberapa asumsi dan metode inversi digunakan dalam proses pembuatan modelnya agar dicapai *error* yang sekecil mungkin sehingga makin mendekati kondisi sebenarnya. Telah dilakukan "Pemodelan Numerik Data Potensial Diri (*Self Potential*)" untuk menginterpretasi secara kuantitatif anomali dan parameter geometri dari anomalnya. Asumsi model yang digunakan adalah geometri sederhana dari data potensial diri. Program untuk pemodelan numerik ini dibuat di perangkat lunak MATLAB yang meliputi pemodelan kedepan dan pemodelan kebelakang. Metode inversi yang dipakai yaitu metode yang dikembangkan oleh El-Araby (2003). Program yang dibuat selanjutnya diuji pada data sintetik (3 data) dan data sekunder (3 data). Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, untuk data sintetik, hasil *RMS error*-nya sebagian besar dibawah 10%. Di samping itu, untuk data sekunder, hasilnya sesuai dengan referensi yang dipakai, dimana data sekunder 1 dan 2 saling memvalidasi karena berada pada daerah yang sama namun beda lintasan pengukuran yang jenis sumber anomalnya adalah bola karena berkaitan dengan mineral tembaga. Sedangkan untuk data sekunder 3, sumber anomalnya adalah *vertical cylinder*, yaitu rembesan yang berhubungan dengan potensial *streaming* yang terjadi di daerah bendungan.

Kata Kunci : Anomali, Data, Model, Potensial Diri

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **NUMERICAL MODELING OF SELF POTENTIAL DATA**

Name of Student : Bayu Tambak Samudra  
Student ID Number : 3712 100 016  
Department : Teknik Geofisika ITS  
Advisor Lecture : Dr. Dwa Desa Warnana

## **ABSTRACT**

Quantitative problems in self-potential method sometimes still be found. Some of the assumptions and methods used in the model inversion in order to get the smallest possible error so perilously close to actual conditions. It has been done "Numerical Modeling of Self Potential Data" to quantitatively interpret anomalies and geometry parameters of the anomaly. Assumptions model that are used is the simple geometry of the self potential data. Program for numerical modeling is created in the MATLAB software that includes forward modeling and inverse modeling. The inversion method that is used is the method developed by El-Araby (2003). The program that created subsequently tested on synthetic data (3 data) and secondary data (3 data). Based on the research that has been done, for synthetic data, the results of all RMS error mostly is below 10%. In addition, secondary data, the results are in accordance with the reference that was used, in which secondary data 1 and secondary data 2 validating each other because they are in the same area but different line measurement that type of source anomaly was associated with the sphere for a copper mineral. As for the secondary data 3, the source of the anomaly was a vertical cylinder, that is seepage associated with streaming potential that occurs in the area of the dam.

Keyword : Anomaly, Data, Model, Self Potential

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul “PEMODELAN NUMERIK DATA POTENSIAL DIRI (*SELF POTENTIAL*)” ini dapat terselesaikan.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Papa, Mama, Dewi, Novi, dan seluruh keluarga, berkat dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua jurusan Teknik Geofisika ITS.
3. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS atas semangat dan dukungannya.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan hasil tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 21 Januari 2017

**Bayu Tambak Samudra**

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SIMBOL .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Konsep <i>Self Potential</i> (SP) .....	5
2.2. Metode <i>Self Potential</i> (SP) .....	9
2.3. Pemodelan Kedepan ( <i>Forward Modeling</i> ) untuk Metode Self Potensial .....	10
2.4. Pemodelan Kebelakang ( <i>Inverse Modeling</i> ) untuk Metode Self Potensial .....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian secara Umum .....	17
3.2 Diagram Alir Penelitian untuk Pemodelan Kedepan ( <i>Forward Modeling</i> ) .....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian untuk Pemodelan Kebelakang ( <i>Inverse Modeling</i> ) .....	20
3.4 Diagram Alir untuk Evaluasi Program .....	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1 Analisis Data Sintetik .....	23
4.1.1 Model Sumber Anomali Spherical .....	23

4.1.2	Model Sumber Anomali Horizontal Cylinder .....	24
4.1.3	Model Sumber Anomali Vetical Cylinder .....	25
4.1.4	Pembahasan Data Sintetik .....	26
4.2	Analisis Data Sekunder.....	27
4.2.1	Data Sekunder 1 .....	27
4.2.2	Data Sekunder 2 .....	29
4.2.3	Data Sekunder 3 .....	30
4.2.4	Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 1 .....	32
4.2.5	Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 2 .....	34
4.2.6	Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 3 .....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		39
5.1.	Kesimpulan .....	39
5.2.	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA .....		41
LAMPIRAN .....		43
PROFIL PENULIS .....		61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Zona oksidasi sulfida sebagai sel galvanik (Telford, 1990).....	7
Gambar 2.2 Sketsa model <i>geobattery</i> klasik dari Sato dan Money untuk tubuh bijih dan persamaannya dengan sirkuit linear. (Revil, 2013).....	8
Gambar 2.3 Tampilan penampang untuk anomali SP <i>sphere</i> , <i>horizontal cylinder</i> , dan <i>vertical cylinder</i> (El-Araby, 2003).....	11
Gambar 3.1 Diagram alir untuk pemodelan numerik data SP secara umum.....	17
Gambar 3.2 Diagram alir untuk pembuatan kode MATLAB untuk <i>forward modeling</i> data SP .....	19
Gambar 3.3 Diagram alir untuk pembuatan kode MATLAB untuk <i>inverse modeling</i> data SP.....	21
Gambar 3.4 Diagram alir untuk evaluasi program untuk data SP .....	22
Gambar 4.1 Data sintetik untuk sumber <i>sphere</i> pada kedalaman yang berbeda .....	23
Gambar 4.2 Data sintetik untuk sumber <i>horizontal cylinder</i> pada kedalaman yang berbeda .....	24
Gambar 4.3 Data sintetik untuk sumber <i>horizontal cylinder</i> pada kedalaman yang berbeda .....	25
Gambar 4.4 Anomali Weiss, Ergani, Turki untuk data sekunder 1 (lintasan A-A') (Yüngül, 1950) .....	28
Gambar 4.5 Model anomali Weiss, Ergani, Turki (Hazra, 2010).....	29
Gambar 4.6 Anomali Weiss, Ergani, Turki untuk data sekunder 2 (lintasan B-B') (Yüngül, 1950) .....	30
Gambar 4.7 Peta rencana dari lokasi tanggul bendungan yang menunjukkan ciri struktur utama dan lintasan survei A-A' dan B-B' di British Columbia (Sheffer, 2007) .....	31
Gambar 4.8 Model pengukuran dan perhitungan untuk data SP di permukaan bendungan dalam arah Utara-Selatan yang	

melintasi grout curtain (lintasan survei B-B ' ) (Sheffer, 2007) .....	31
Gambar 4.9 Model anomali Weiss hasil pengukuran dan perhitungan (model <i>sphere</i> ) untuk lintasan A-A' .....	33
Gambar 4.10 Model anomali Weiss, Ergani, Turki hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali untuk lintasan A-A' .....	33
Gambar 4.11 Model anomali Weiss hasil pengukuran dan perhitungan (model <i>sphere</i> ) untuk lintasan B-B' .....	34
Gambar 4.12 Model anomali Weiss, Ergani, Turki hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali untuk lintasan B-B' .....	35
Gambar 4.13 Model anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan, British Columbia hasil pengukuran dan perhitungan (model <i>vertical cylinder</i> ).....	37
Gambar 4.14 Model anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan, British Columbia hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali .....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber dan Nilai secara umum untuk Anomali SP (Reynolds, 2011) .....	10
Tabel 4.1 <i>Output</i> untuk parameter model, Model: <i>Sphere</i> , $q=1.5$ , $\theta=30^\circ$ , $k=-100$ pada $s$ yang berbeda .....	24
Tabel 4.2 <i>Output</i> untuk parameter model, Model: <i>Horizontal</i> <i>cylinder</i> , $q=1$ , $\theta=30^\circ$ , $k=-100$ pada $s$ yang berbeda .....	25
Tabel 4.3 <i>Output</i> untuk parameter model, Model: <i>Vertical</i> <i>cylinder</i> , $q=0.5$ , $\theta=30^\circ$ , $k=-100$ pada $s$ yang berbeda .....	26
Tabel 4.4 Perbandingan <i>RMS error</i> nilai SP untuk data sintetik .....	27
Tabel 4.5 Perbandingan parameter model dari anomali Weiss .....	32
Tabel 4.6 Perbandingan <i>RMS error</i> untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 1 .....	32
Tabel 4.7 Perbandingan <i>RMS error</i> untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 2 .....	34
Tabel 4.8 Perbandingan parameter model dari anomali Weiss .....	35
Tabel 4.9 Perbandingan <i>RMS error</i> untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 3 .....	36
Tabel 4.10 Nilai parameter dari anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan di British Columbia, Kanada.....	36

## DAFTAR SIMBOL

$I_a$ dan $I_c$	= mobilitas dari anion dan kation
$n$	= muatan listrik/ion
$R$	= konstanta gas universal
$T$	= temperatur absolut
$F$	= konstanta Faraday
$C_1$ dan $C_2$	= konsentrasi larutan yang menciptakan gradien difusi
$\varepsilon$	= konstanta dielektrik elektrolit
$\rho$	= resistivitas elektrolit
$\zeta$	= parameter yang ditentukan oleh bahan dinding kapiler dan elektrolit
$p$	= gradien tekanan
$\mu$	= viskositas dinamis elektrolit
$E$	= kuat medan listrik
$z$	= kedalaman dari permukaan ke pusat tubuh anomali
$\theta$	= sudut polarisasi
$k$	= momen dipol listrik (besarnya polarisasi)
$x_i$	= posisi koordinat horizontal.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Potensial diri (SP), atau yang biasa disebut potensial spontan merupakan pada pengukuran pasif dari potensial listrik yang dihasilkan melalui kopeling dengan beberapa mekanisme gaya lain; seperti hidrolik, kimia, atau termal. Beberapa upaya awal untuk mengkarakterisasi mekanisme aliran kopel ini dalam konteks geofisika dapat dikaitkan dengan Marshall dan Madden (1959), Sato dan Mooney (1960), dan Nourbehecht (1963). Secara konseptual, SP adalah teknik yang sangat sederhana dan serbaguna karena sinyal listrik yang ada di dalam media penghantar listrik (seperti bumi) dapat dideteksi dari jarak yang jauh dari lokasi mekanisme gaya. (Minsley, 1997)

Potensial diri juga merupakan beda potensial alami yang memiliki kegunaan untuk mencari tubuh mineral. Meskipun beberapa metode interpretasi kuantitatif telah dikembangkan seperti '*curve matching*' oleh Murty dan Haricharan (1985), '*derivative analysis*' oleh Abdelrahman *et al.* (2003), '*Modelling and Inversion*' oleh Shi dan Morgan (1996), teknik peningkatan nomor gelombang lokal oleh Srivastava dan Agarwal (2009), tapi sebagian besar sangat dipengaruhi oleh gangguan (*noise*) dalam data pengukuran. Metode yang dikembangkan oleh El-Araby (2003) dapat menangani kesalahan acak dan data pengganggu lebih efektif daripada yang lain. Sebuah pendekatan *least square minimization* diimplementasikan untuk menentukan faktor bentuk (*shape factor*) menggunakan data pada semua titik dalam anomali potensial diri. Masalah selanjutnya berubah menjadi memecahkan persamaan linier pada faktor bentuk anomali untuk menghitung parameter lain seperti kedalaman, sudut polarisasi, dan *shape factor*. Persyaratan satu-satunya dari metode ini adalah menentukan asal dari model sumber pada data penampang.

Permasalahan lainnya adalah jarang ditemukan interpretasi kualitatif untuk metode Potensial Diri, karena yang umum dilakukan adalah interpretasi kuantitatif, untuk itu diperlukan pemodelan numerik. Pemodelan numerik (*numerical modeling*) merupakan proses pembuatan model dengan memakai metode numerik yang digunakan untuk memformulasikan masalah matematis agar dapat dipecahkan dengan operasi hitungan. Ada dua teknik pemodelan yang umum digunakan

yaitu pemodelan kedepan (*forward modeling*) dan pemodelan kebelakang (*inverse modeling*). Kedua teknik ini memiliki prinsip umum yaitu meminimumkan anomali perhitungan dan anomali pengamatan. Dalam setiap pemodelan data geofisika, pemilihan metode yang digunakan akan menentukan hasil pemodelan. Kelemahan dari kedua teknik ini adalah diperlukan waktu yang cukup lama dan teknik tertentu untuk memperoleh model sebenarnya yang didekati dengan model yang dibuat. Dari permasalahan diatas, pada kasus ini diambil salah satu metode geofisika untuk dimodelkan dengan pemodelan kedepan dan pemodelan kebelakang yaitu metode potensial diri (SP). Tujuannya untuk mengetahui seberapa besar kesesuaian antara model yang dibuat dengan model sebenarnya. Dalam hal ini pada pemodelan kedepan, model telah ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu baru dilakukan pemodelan kebelakang yang bertujuan untuk merekonstruksi model struktur bawah permukaan dari data observasi yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik tertentu.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka timbul beberapa permasalahan, yaitu.

1. Bagaimana pembuatan program untuk menentukan anomali data SP dengan berbagai bentuk anomali dan kedalaman menggunakan data sintetik dan data sekunder?
2. Bagaimana pembuatan program untuk menentukan sumber anomali dan parameter geometri dari data sintetik dan data sekunder anomali SP?

## **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah.

1. Pembuatan kode pemrograman untuk memodelkan data potensial diri (SP) hanya menggunakan MATLAB.
2. Data yang digunakan berupa data sintetik dan sekunder yang menggunakan asumsi model dengan geometri yang sederhana, yaitu *sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder*.



#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah.

1. Pembuatan program untuk menentukan anomali data SP dengan berbagai bentuk anomali dan kedalaman menggunakan data sintetik dan data sekunder.
2. Pembuatan program untuk menentukan sumber anomali dan parameter geometri dari data sintetik dan data sekunder anomali SP.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah.

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk pemodelan data SP dengan metode yang lain.
2. Dapat digunakan pada kasus pengukuran SP skala laboratorium.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Konsep *Self Potential* (SP)

*Self potential* (SP) atau disebut juga potensial diri adalah perbedaan potensial yang terjadi secara alami antara titik-titik di permukaan tanah. Nilai SP tergantung pada potensial yang kecil atau tegangan yang secara alami dihasilkan oleh beberapa bijih besar (*massive ores*). Hal ini berkaitan dengan sulfida dan beberapa jenis bijih yang lain. SP sangat kuat dalam mendeteksi pirit, pirotit, kalkopirit, grafit. Perbedaan potensial dihasilkan di dalam bumi atau di dalam batuan yang teralterasi oleh kegiatan manusia maupun alam. Potensial alami terjadi akibat ketidaksetaraan atau perbedaan material-material, dekat larutan elektrolit dengan perbedaan konsentrasi dan karena aliran fluida di bawah permukaan. Selain itu, hal lain yang mengakibatkan terjadinya potensial diri di bawah permukaan yaitu dapat dihasilkan oleh perbedaan mineralisasi, aktivitas elektrokimia, aktivitas geothermal dan bioelektrik oleh tumbuh-tumbuhan (vegetasi) yang dipetakan untuk mengetahui informasi di bawah permukaan. (Telford, 1990).

Anomali SP muncul dari berbagai mekanisme, antara lain adalah difusi dan potensial membran. Anomali SP berhubungan dengan gradien konsentrasi spesies ion dalam tanah yang mengatur potensial difusi. Jika anion dan kation yang terlibat memiliki mobilitas yang berbeda, maka perbedaan yang dihasilkan di tingkat difusi akan menciptakan potensial listrik, karena ion bergerak lebih cepat dari satu muatan akan mulai melebihi ion muatan yang berlawanan. Medan listrik yang dihasilkan hanya apa yang diperlukan untuk mempercepat ion bergerak lebih lambat dan menjaga *electroneutrality*. Pada keseimbangan, potensi difusi,  $E_d$ , diberikan oleh:

$$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{nF} \ln(C_1/C_2) \quad (2.1)$$

Dimana:

- |                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| $I_a$ dan $I_c$ | = mobilitas dari anion dan kation, |
| $n$             | = muatan listrik/ion,              |
| $R$             | = konstanta gas universal,         |
| $T$             | = temperatur absolut,              |
| $F$             | = konstanta Faraday, dan           |

$C_1$  dan  $C_2$  = konsentrasi larutan yang menciptakan gradien difusi.

Potensial streaming atau juga dikenal sebagai zeta atau potensial elektroultrafiltrasi, streaming potensi timbul ketika air atau cairan lainnya mengalir melalui pasir, batuan berpori, moraines, dan basal. Di daerah dengan curah hujan tinggi, topografi yang curam, dan batuan berpori, potensial streaming dapat memiliki amplitudo besar. Anomali SP sebesar 2693 mV pada Agadak Volcano, Pulau Adak, Alaska, dikaitkan dengan potensial streaming. Potensial streaming juga sering ditemukan dalam survei SP atas sumber panas bumi. Fenomena ini pertama kali dipelajari oleh Helmholtz di abad ke-19. Untuk aliran dalam pipa kapiler melalui elektrolit mengalir medan listrik ( $E$ ) diberikan oleh:

$$E = \frac{\varepsilon \rho \zeta}{4\pi\mu} \quad (2.2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = konstanta dielektrik elektrolit ( $F.m^{-1}$ ),

$\rho$  = resistivitas elektrolit ( $\Omega.m$ ),

$\zeta$  = parameter yang ditentukan oleh bahan dinding kapiler dan elektrolit,

$p$  = gradien tekanan ( $Pa.m^{-1}$ ), dan

$\mu$  = viskositas dinamis elektrolit ( $Pa.s$ ).

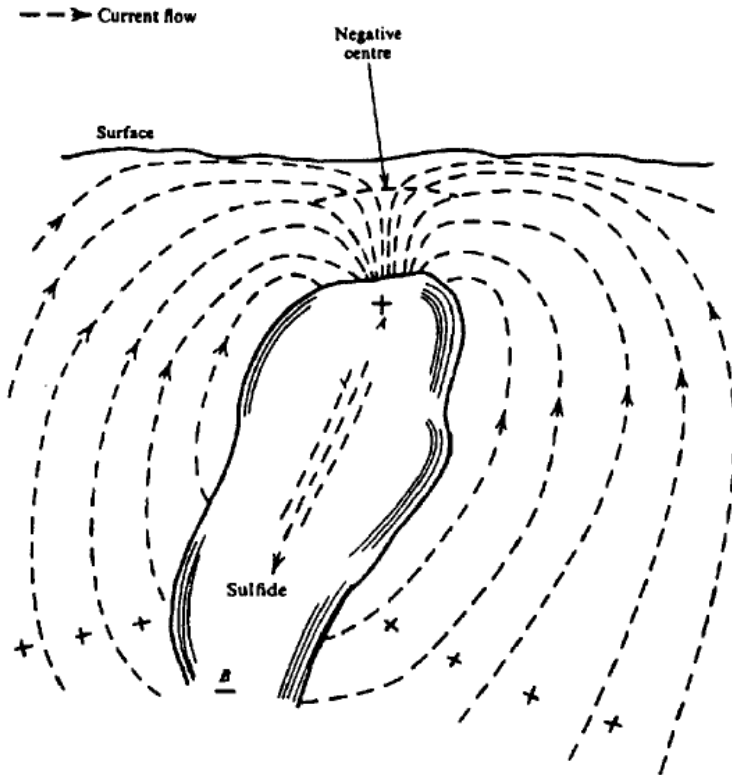
$E$  = kuat medan listrik ( $V.m^{-1}$ )

Potensial mineral, beberapa anomali SP terbesar berkaitan dengan deposit mineral, terutama sulfida yang tertimbun. Potensial ini terjadi akibat dari reaksi geokimia reduksi-oksidasi (redoks), setara dengan sel galvanik yang didefinisikan dalam elektrokimia. (Nyquist, 2002)

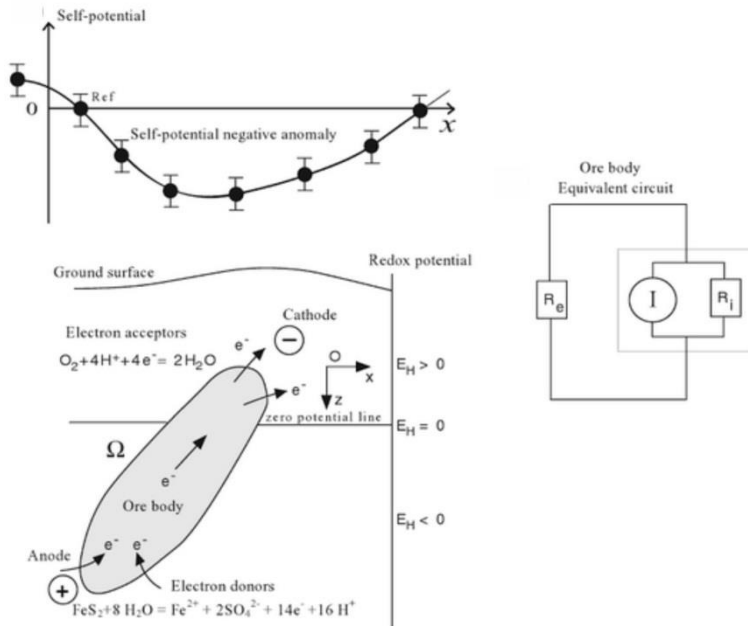
Potensial mineralisasi dihasilkan terutama oleh sulfida telah lama menjadi target utama kepentingan. Sisa dari potensial spontan ini dapat diklasifikasikan sebagai background atau noise. Background potensial diciptakan oleh aliran fluida, aktivitas bioelektrik di vegetasi, berbagai konsentrasi elektrolit di dalam air tanah, dan aktivitas geokimia lainnya. Amplitudonya sangat bervariasi tetapi umumnya kurang dari 100 mV. Rata-rata, selama interval beberapa ribu kaki, potensial biasanya bertambah hingga nol karena lebih mungkin untuk menjadi positif-negatif.

Mekanisme polarisasi spontan dalam zona mineral, seperti efek panas bumi, tidak sepenuhnya dipahami, meskipun beberapa hipotesis

telah dikembangkan untuk menjelaskannya. Pengukuran sekunder menunjukkan bahwa beberapa bagian dari mineral harus berada dalam zona oksidasi agar anomali SP dapat muncul di permukaan. Berdasarkan tanda-tanda yang ada, tubuh mineral bertindak seperti sel galvanik dengan beda potensial yang dibuat antara zona oksidasi (umumnya diatas permukaan) dan reduksi. Aktivitas sel ini ini digambarkan pada Gambar 2.1. (Telford, 1990)



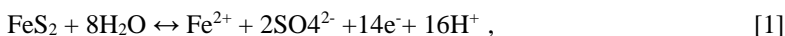
Gambar 2.1 Zona oksidasi sulfida sebagai sel galvanik (Telford, 1990)



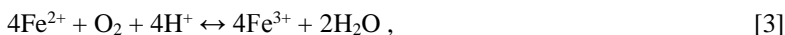
Gambar 2.2 Sketsa model *geobattery* klasik dari Sato dan Money untuk tubuh bijih dan persamaannya dengan sirkuit linear. (Revil, 2013)

Pada Gambar 2.2, saat jauh dari tubuh bijih, potensial redoks berkurang terutama terhadap kedalaman karena pengurangan kedalaman dari konsentrasi oksigen yang terlarut di air pori. Di sekitar tubuh bijih, gangguan potensial redoks terjadi karena reaksi redoks pada permukaan tubuh bijih. Korosi dari tubuh bijih juga dapat berperan dalam kerak resistif yang menambahkan resistansi Ohmik ke sirkuit. Secara khusus, anomali potensial diri yang berkaitan dengan tubuh bijih dapat mencapai beberapa ratus millivolts di permukaan tanah tetapi tidak dapat lebih tinggi dari perbedaan potensial redoks diantara titik terminal (anoda dan katoda) dari sistem tersebut. Tubuh bijih dicirikan dari sumber dari arus  $I$  dan resistansi internal  $R_i$ . Resistansi  $R_c$  berdiri untuk resistansi eksternal dari medium konduktif dimana tubuh bijih tertanam.

Contoh untuk mekanisme ini adalah korosi dari tubuh bijih yaitu pirit ( $\text{FeS}_2$ ). Reaksinya melibatkan: oksidasi dari S(-2) dan S(0) dalam pirit yang digabungkan untuk melepaskan  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  di kedalaman, digabungkan juga dengan reduksi dari oksigen dekat dengan *interface* oksik-anoksik (khususnya permukaan air). Fe yang larut dilepaskan selama reaksi anodik terjadi di kedalaman kemudian akhirnya bereaksi melalui adveksi, dispersif, dan *electromigration transport* dengan oksigen di permukaan air. Reaksi-reaksi ini berdampak pada distribusi potensial redoks di sekitar tubuh bijih. Mekanisme ini dapat diringkas menjadi reaksi di bawah ini. Di kedalaman pada permukaan dari tubuh bijih, terjadi setengah-reaksi berikut:



Dimana setengah-reaksi abiotik ditarik turun bersamaan untuk elektron dan  $\text{Fe}^{2+}$  di *interface* oksik-anoksik. Di katoda, atau di zona vadose, diperoleh persamaan berikut:



Reaksi [2] sesuai dengan setengah-reaksi terkait dengan elektron yang diberikan oleh tubuh bijih. Reaksi [3] adalah reaksi redoks di dalam larutan dengan mikroorganisme yang berpotensi mampu mempercepat reaksi ini tergantung dari pH dari larutan (nilai pH yang rendah akan mempercepat reaksi). Reaksi [4] adalah presipitasi dari mineral Besi(III) oksida, dimana terjadi reaksi abiotik. (Revil, 2013)

## 2.2. Metode *Self Potential* (SP)

Metode SP menggunakan arus alami yang mengalir di dalam tanah yang dihasilkan oleh proses elektrokimia untuk menemukan tubuh mineral pada kedalaman dangkal dari anomali konduktivitas dan sirkulasi air. Metode SP merupakan metode geofisika yang bersifat pasif, beda potensial alami yang dihasilkan oleh suatu material pada daerah survei diukur diantara dua titik elektroda di permukaan tanah. Nilai beda potensial yang terukur mulai dari beberapa milivolt hingga

lebih dari satu volt. Tanda positif dan negatif yang terdapat pada nilai beda potensial adalah faktor yang penting untuk interpretasi anomali SP.

Pada Tabel 2.1 ditampilkan beberapa jenis umum untuk anomali SP dan sumber geologi yang menghasilkan anomali tersebut. Sebagai tambahan, geometri dari struktur geologi dapat juga menghasilkan anomali SP sehingga sumber-sumber pada tabel di bawah ini hanya digunakan sebagai petunjuk. (Tambunan, 1990)

Tabel 2.1 Sumber dan Nilai secara umum untuk Anomali SP (Reynolds, 2011)

Sumber	Nilai Anomali SP
<b><u>Potensial Mineral</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubuh bijih sulfida (pirit, kalkopirit, spalerit, galena)</li> <li>• Tubuh bijih grafit</li> <li>• Magnetit + mineral penghantar listrik (konduktif)</li> <li>• Batubara</li> <li>• Mangan</li> </ul>	Hingga (negatif) ratusan mV
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urat kuarsa (<i>quartz vein</i>)</li> <li>• Pegmatit</li> </ul>	Hingga (positif) puluhan mV
<b><u>Potensial Alami</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliran fluida, reaksi geokimia</li> <li>• Biolistrik (pepohonan)</li> <li>• Aliran air tanah</li> <li>• Topografi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>V \leq \pm 100 \text{ mV}</math></li> <li>• <math>V \leq -300 \text{ mV}</math> atau lebih</li> <li>• Hingga (positif/negatif) ratusan mV</li> <li>• Hingga -2 V</li> </ul>

### 2.3. Pemodelan Kedepan (*Forward Modeling*) untuk Metode Self Potensial

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) merupakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan

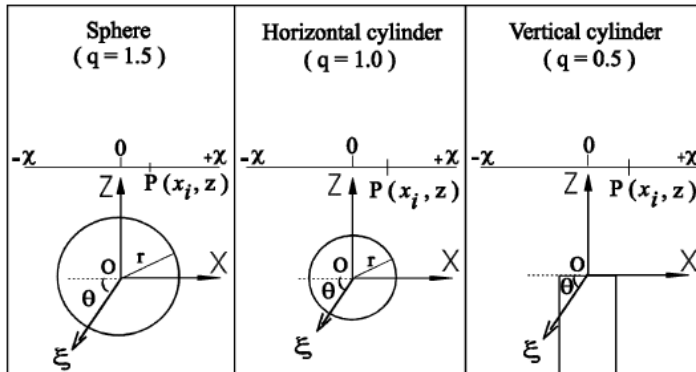


bumi. Apabila diketahui parameter model bawah permukaan tertentu maka melalui proses pemodelan ke depan dapat dihitung data yang secara teoritik akan teramati di permukaan bumi. Konsep tersebut digunakan untuk menginterpretasi data geofisika. Jika respon suatu model cocok/sesuai dengan data, maka model yang digunakan untuk memperoleh respon tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di lokasi pengukuran. (Makhrani, 2013)

Anomali SP pada umumnya dihasilkan dari struktur yang paling terpolarisasi sepanjang profil utama diatas tubuh anomali yang diberikan oleh persamaan (2.3) pada titik P ( $x_i, z$ ) (Gambar 2.1). (Yungul, 1950; Bhattacharya dan Roy 1981; Satyanarayana Murty dan Haricharen, 1985; Abdelrahman et al., 1997)

$$V(x_i, z, \theta, q) = k \frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^q}, \quad (2.3)$$

Untuk  $(2N+1)$  titik dan  $i=-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N$ .



Gambar 2.3 Tampilan penampang untuk anomali SP *sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder* (El-Araby, 2003)

Anomali SP yang dihasilkan oleh *sphere*, *vertical cylinder*, dan *horizontal cylinder* di setiap titik pada permukaan bebas sepanjang profil utama dalam Sistem Koordinat Kartesian yang masing-masing diberikan oleh persamaan (2.4), (2.5), (2.6):

$$V(x_i) = (kz^2) \left( \frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^{3/2}} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.4)$$

$$V(x_i) = (k) \left( \frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^{1/2}} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.5)$$

$$V(x_i) = (kz) \left( \frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{x_i^2 + z^2} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.6)$$

Dimana,

$z$  = kedalaman dari permukaan ke pusat tubuh anomali,

$\theta$  = sudut polarisasi,

$k$  = momen dipol listrik (besarnya polarisasi), dan

$x_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) = posisi koordinat horizontal. (Dehbashi, 2014)

#### **2.4. Pemodelan Kebelakang (*Inverse Modeling*) untuk Metode Self Potensial**

Teori inversi didefinisikan sebagai suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika yang bertujuan untuk memperoleh informasi parameter model yang berguna dalam suatu sistem fisika yang pada hal ini fenomena yang ditinjau yaitu berdasarkan observasi terhadap sistem. Dalam proses inversi, harus terdapat proses modifikasi model agar diperoleh kesesuaian optimal antara data perhitungan dan pengamatan. Pemodelan jenis ini juga dinamakan *data fitting* karena dalam prosesnya yang dicari adalah parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan.

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan secara umum dinyatakan dalam suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi objektif tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. (Makhrani, 2013)

Inversi pada kasus ini menggunakan metode *least square*. Metode *least square* merupakan suatu teknik penyelesaian permasalahan yang penting dan dimanfaatkan dalam bidang aplikasi. Metode ini banyak digunakan untuk mencari atau mengetahui adanya hubungan atau korelasi di antara dua variabel.

Metode *least square* diperlukan untuk melakukan analisa apakah terdapat hubungan di antara dua variabel yang ditinjau, seberapa kuat hubungan yang terjadi. Langkah-langkah untuk inversinya adalah sebagai berikut.

- Untuk semua bentuk sumber anomali yang berupa fungsi dari  $q$ , persamaan (2.3) memberikan hubungannya pada lokasi asal anomalnya ( $x_i=0$ ):

$$V(0) = k \frac{\sin \theta}{z^{2q-1}} \quad (2.7)$$

Dimana  $V(0)$  adalah nilai anomali di lokasi asalnya (*origin*), oleh karena itu:

$$k = V(0) \frac{z^{2q-1}}{\sin \theta} \quad (2.8)$$

- Nilai  $k$  pada persamaan (2.3) diganti dengan persamaan (2.8) untuk mengeliminasi nilai  $k$  yang tidak diketahui serta menggunakan nilai  $V(0)$  di lokasi asal pengukuran sehingga persamaannya menjadi:

$$V(x_i, z, \theta, q) = V(0) z^{2q-1} \frac{x_i \cot \theta + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.9)$$

- Nilai lain yang diperlukan yaitu dua data observasi ( $x_i = -s$  dan  $x_i = s$ ), dimana  $s=1,2,...,M$  dalam satuan unit. Kedua nilai yang diketahui ini  $V(s)$  dan  $V(-s)$  digunakan untuk mengeliminasi jumlah parameter yang tidak diketahui di persamaan (2.9) ( $z, \theta, q$ ) hingga menyisakan satu parameter yaitu  $q$ . Dengan menggunakan persamaan (2.9), maka anomali SP pada kedua titik ini adalah:

$$V(s) = V(0) z^{2q-1} \frac{s \cot \theta + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.10)$$

$$V(-s) = V(0) z^{2q-1} \frac{z - s \cot \theta}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.11)$$

- Dari persamaan (2.3), (2.10), dan (2.11), didapatkan dua hubungan berikut:

$$F = \frac{z^{2q}}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.12)$$

$$\text{Dimana: } F = \frac{[V(s) + V(-s)]}{[2V(0)]} \quad (2.13)$$

$$P = \frac{z^{2q-1}}{(x_i^2 + z^2)^q} \cot \theta \quad (2.14)$$

$$\text{Dimana: } P = \frac{[V(s) - V(-s)]}{[2V(0)]} \quad (2.15)$$

$F$  dan  $P$  adalah dua variabel yang diketahui yang dihitung menggunakan nilai anomali SP pada 3 titik observasi dimana  $x = 0$  dan  $x = \pm s$  yang bertujuan untuk menggabungkan solusi untuk  $q$  sebagai ganti dari nilai  $z$  dan  $\theta$  yang tidak diketahui.

- Dari persamaan (2.12) dan (2.14), didapatkan persamaan terpisah untuk  $z$  dan  $\theta$ :

$$Z = \sqrt{\frac{s^2 F^{1/q}}{1 - F^{1/q}}} \quad (2.16)$$

$$\cot \theta = \frac{P}{sF} \sqrt{\frac{s^2 F^{1/q}}{1 - F^{1/q}}} \quad (2.17)$$

- Substitusi persamaan (2.16) dan (2.17) ke dalam persamaan (2.9), didapatkan persamaan nonlinear pada  $q$  seperti yang ditunjukkan di Lampiran 1.

$$V(x_i, q) = V(0)W(x_i, q) \quad (2.18)$$

$$\text{Dimana: } W(x_i, q) = s^{2q-1} \frac{x_i^{P+sF}}{[x_i^2 + F^{1/q}(s^2 - x_i^2)]^q} \quad (2.19)$$

- Nilai *shape factor* ( $q$ ) yang tidak diketahui di persamaan (2.18) dapat diperoleh dengan meminimalkan:

$$\phi(q) = \sum_{i=-N}^N [Y(x_i) - V(0)W(x_i, q)]^2 \quad (2.20)$$

$Y(x_i)$  menunjukkan anomali pengukuran SP pada titik observasi xi. Meminimalkan  $\phi(q)$  dalam metode least squares memerlukan turunan dari  $\phi(q)$  dengan q sama dengan nol sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$f(q) = \sum_{i=-N}^N [Y(x_i) - V(0)W(x_i, q)]W'(x_i, q) = 0 \quad (2.21)$$

$$\text{Dimana: } W'(x_i, q) = \frac{d}{dq} W(x_i, q) \quad (2.22)$$

- Persamaan (2.21) dapat diselesaikan untuk mengetahui nilai  $q$  dengan metode standar untuk menyelesaikan sistem persamaan nonlinear. Pertama, persamaan (2.21) ditransformasikan kedalam bentuk  $q = f(q)$  seperti yang ditunjukkan di Lampiran 2 untuk mendapatkan persamaan berikut:

$$q = \frac{\sum_{i=-N}^N V(0)W^2(x_i, q) \left\{ \frac{(s^2 - x_i^2)F^{1/q} \ln F}{x_i^2 + F^{1/q}(s^2 - x_i^2)} \right\}}{\sum_{i=-N}^N Y(x_i)W'(x_i, q) - \sum_{i=-N}^N V(0)W^2(x_i, q) \ln \left\{ \frac{s^2}{x_i^2 + F^{1/q}(s^2 - x_i^2)} \right\}} \quad (2.23)$$

(El-Araby, 2003)

Perbandingan antara ketiga sumber anomali dihitung didasarkan pada parameternya menggunakan *root mean square error* (RMS). RMS ini mengukur seberapa sesuai respon model yang dihitung dengan data hasil pengukuran. RMS juga memiliki satuan yang sama dengan anomali SP. Nilai yang terendah dipilih untuk menunjukkan parameter hasil perhitungan yang dapat dipercaya.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [Y(x_i) - V(x_1, z, \theta, q)]^2}{2N+1}} \quad (2.24)$$

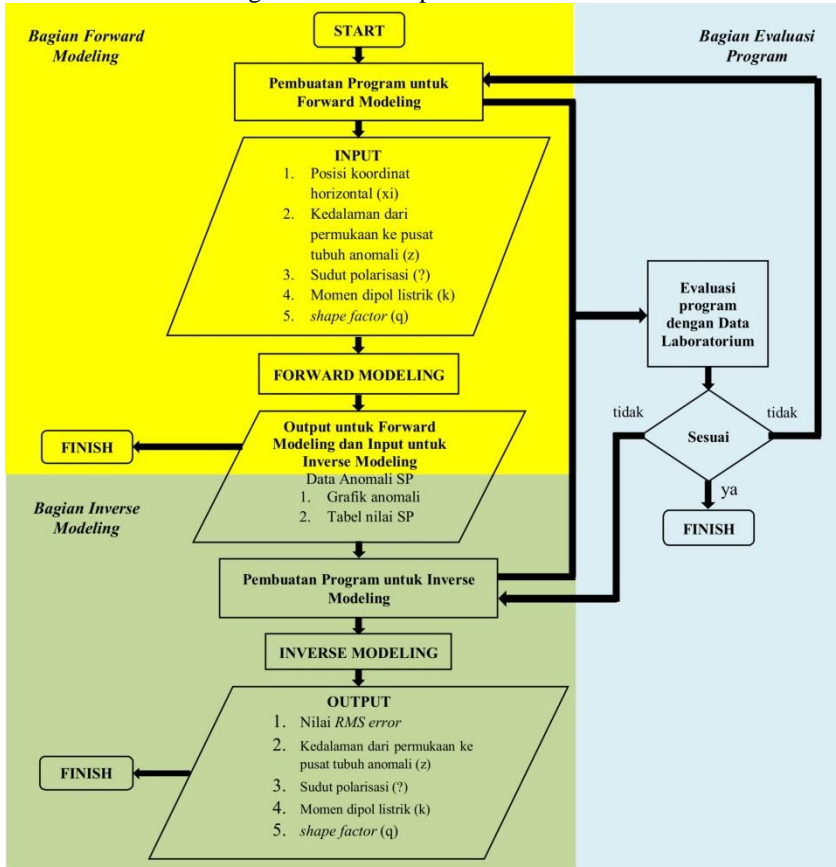
Dimana  $Y(x_i)$  adalah nilai anomali SP hasil pengukuran sedangkan  $V$  adalah nilai anomali SP hasil perhitungan. (Hazra, 2010)

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian secara Umum

Berikut adalah diagram alir untuk pemodelan secara umum.



Gambar 3.1 Diagram alir untuk pemodelan numerik data SP secara umum

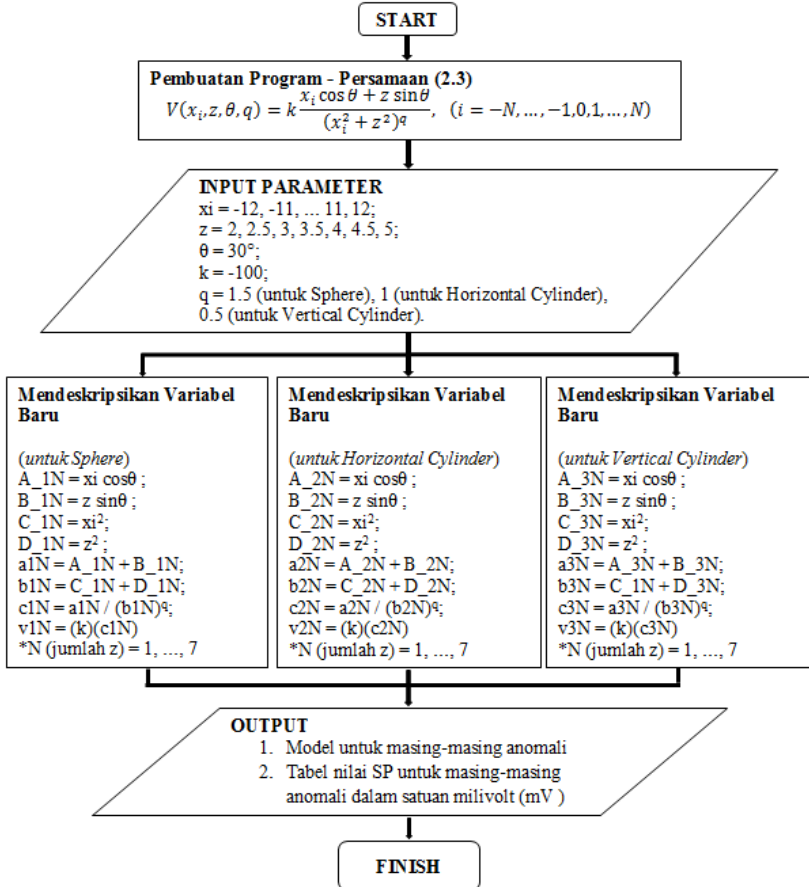
Pada diagram alir di Gambar 3.1, dibagi menjadi tiga tahapan besar untuk penelitian ini, yaitu bagian *forward modeling*, bagian *inverse*

*modeling*, dan bagian evaluasi program. Prosesnya dimulai dari pembuatan program untuk *forward modeling* yang selanjutnya dimasukkan input yaitu data sintetik untuk metode potensial diri (SP) kemudian di-*run* programnya untuk mendapatkan hasilnya yang berupa model anomali SP. Kemudian dibuat program untuk *inverse modeling* yang kemudian dimasukkan input berupa data dari *forward modeling* tadi. Terakhir, jika kesesuaian antara kedua program tadi sudah dianggap baik maka dilakukan evaluasi programnya dengan menggunakan data sekunder. Untuk alur detail dari masing-masing tahapan ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, dan Gambar 3.4.



### 3.2 Diagram Alir Penelitian untuk Pemodelan Kedepan (*Forward Modeling*)

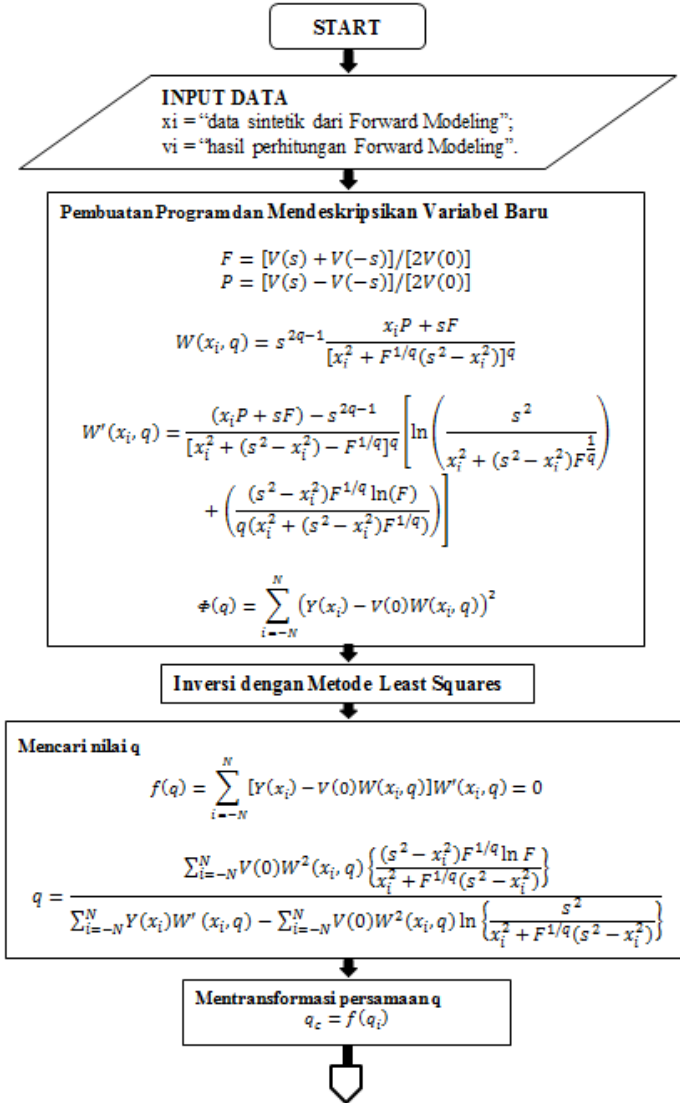
Berikut adalah diagram alir untuk pemodelan kedepan.

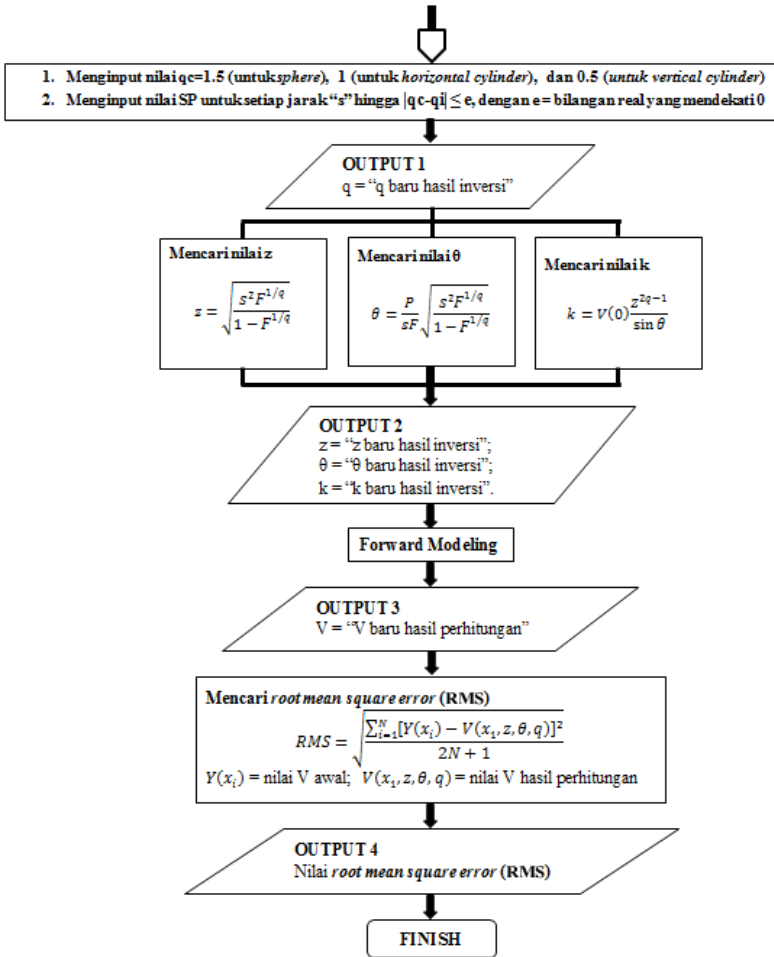


Gambar 3.2 Diagram alir untuk pembuatan kode MATLAB untuk *forward modeling* data SP

### 3.3 Diagram Alir Penelitian untuk Pemodelan Kebelakang (*Inverse Modeling*)

Berikut adalah diagram alir untuk pemodelan kebelakang.

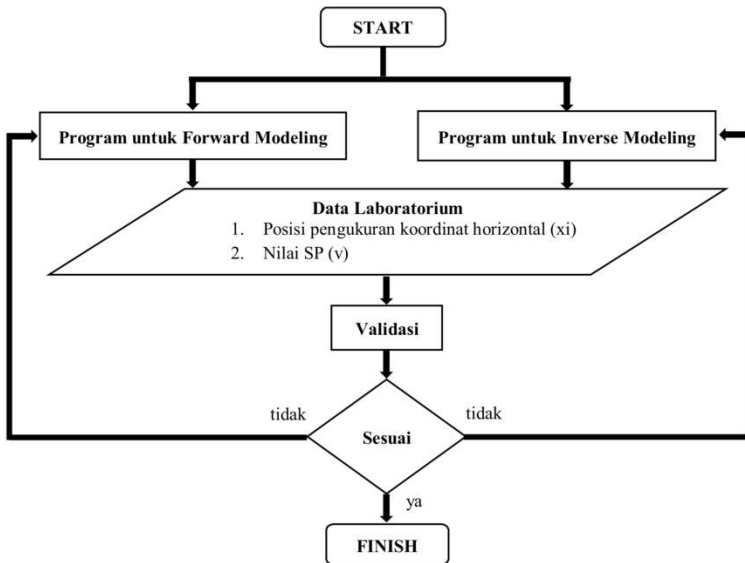




Gambar 3.3 Diagram alir untuk pembuatan kode MATLAB untuk *inverse modeling* data SP

### 3.4 Diagram Alir untuk Evaluasi Program

Berikut adalah diagram alir untuk evaluasi program.



Gambar 3.4 Diagram alir untuk evaluasi program untuk data SP

## BAB IV

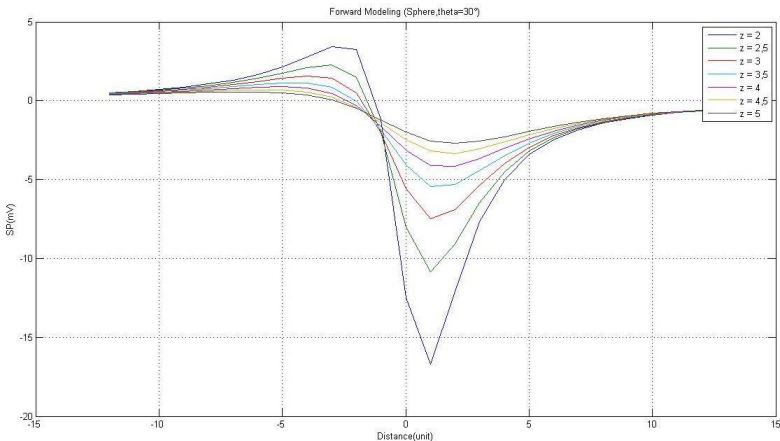
### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data Sintetik

Program MATLAB diatas perlu dilakukan pengujian untuk melihat kemampuannya dalam memecahkan permasalahan interpretasional. Langkah pertama adalah mengaplikasikannya pada data sintetik, dengan tiga sumber anomali: model sumber *sphere*, model sumber *horizontal cylinder*, dan model sumber *vertical cylinder* menggunakan persamaan (2.3) untuk parameter model yang berbeda.

##### 4.1.1 Model Sumber Anomali Spherical

Anomali potensial diri untuk sumber *sphere* telah dihitung untuk parameter berikut: sudut polarisasi ( $\theta$ ) = 30 derajat, momen dipol listrik ( $k$ ) = -100 pada kedalaman yang berbeda ( $z$  = 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, dan 5 unit) (Gambar 4.1). Setelah itu, anomali tadi digunakan sebagai input untuk program yang dibuat yang selanjutnya dilihat kesesuaian parameter modelnya melalui proses inversi (Tabel 4.1).



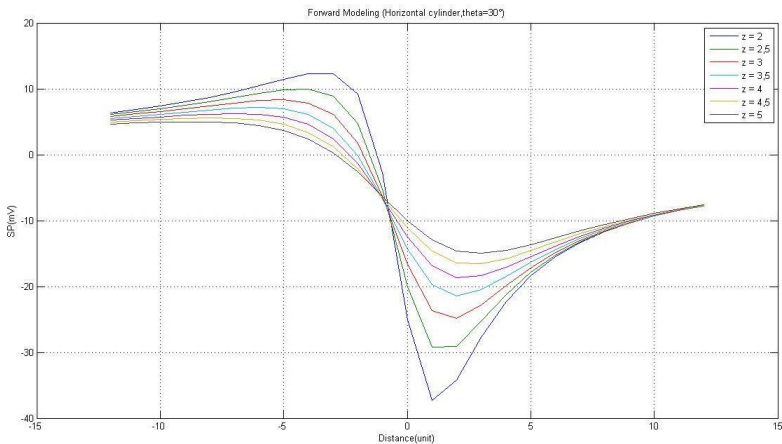
Gambar 4.1 Data sintetik untuk sumber *sphere* pada kedalaman yang berbeda

Tabel 4.1 *Output* untuk parameter model, Model: *Sphere*,  $q=1.5$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $k=-100$  pada  $s$  yang berbeda

Kedalaman	q	z (unit)	$\theta$ (dalam derajat)	k	s (unit)	e
2	1.29	1.70	34.15	-51.44	4	0.21
2.5	1.36	2.29	32.23	-62.43	4	0.14
3	1.45	2.92	30.66	-83.90	4	0.05
3.5	1.58	3.63	29.08	-135.73	4	0.08
4	1.38	3.71	31.89	-58.88	6	0.12
4.5	1.42	4.31	31.08	-70.81	6	0.08
5	1.47	4.93	30.35	-88.00	6	0.03

#### 4.1.2 Model Sumber Anomali Horizontal Cylinder

Anomali potensial diri untuk sumber *horizontal cylinder* telah dihitung untuk parameter berikut: sudut polarisasi ( $\theta$ ) = 30 derajat, momen dipol listrik ( $k$ ) = -100 pada kedalaman yang berbeda ( $z$  = 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, dan 5 unit) (Gambar 4.2). Setelah itu, anomali tadi digunakan sebagai input untuk program yang dibuat yang selanjutnya dilihat kesesuaian parameter modelnya melalui proses inversi (Tabel 4.2).



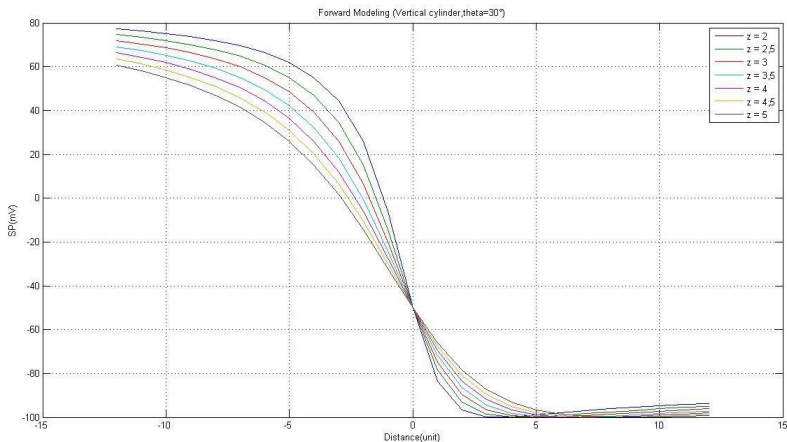
Gambar 4.2 Data sintetik untuk sumber *horizontal cylinder* pada kedalaman yang berbeda

Tabel 4.2 *Output* untuk parameter model, Model: *Horizontal cylinder*,  $q=1$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $k=-100$  pada  $s$  yang berbeda

Kedalaman	q	z (unit)	$\theta$ (dalam derajat)	k	s (unit)	e
2	0.77	1.37	40.13	-45.85	6	0.23
2.5	0.83	1.99	35.96	-53.37	6	0.17
3	0.89	2.65	33.20	-64.61	6	0.11
3.5	0.95	3.34	31.19	-81.65	6	0.05
4	1.02	4.07	29.57	-109.38	6	0.02
4.5	0.95	4.30	31.16	-79.52	7	0.05
5	0.99	4.96	30.21	-95.45	7	0.01

#### 4.1.3 Model Sumber Anomali Vertical Cylinder

Anomali potensial diri untuk sumber *vertical cylinder* telah dihitung untuk parameter berikut: sudut polarisasi ( $\theta$ ) = 30 derajat, momen dipol listrik ( $k$ ) = -100 pada kedalaman yang berbeda ( $z$  = 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, dan 5 unit) (Gambar 4.3). Setelah itu, anomali tadi digunakan sebagai input untuk program yang dibuat yang selanjutnya dilihat kesesuaian parameter modelnya melalui proses inversi (Tabel 4.3).



Gambar 4.3 Data sintetik untuk sumber *horizontal cylinder* pada kedalaman yang berbeda

Tabel 4.3 *Output* untuk parameter model, Model: *Vertical cylinder*,  $q=0.5$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $k=-100$  pada  $s$  yang berbeda

Kedalaman	q	z (unit)	$\theta$ (dalam derajat)	k	s (unit)	e
2	0.32	0.80	55.18	-66.03	9	0.18
2.5	0.35	1.30	47.91	-62.10	9	0.15
3	0.38	2.00	40.92	-64.33	9	0.12
3.5	0.40	2.56	38.25	-66.60	10	0.10
4	0.42	3.19	35.93	-70.04	10	0.08
4.5	0.43	3.79	34.40	-73.38	10	0.07
5	0.44	4.39	33.35	-76.44	10	0.06

#### 4.1.4 *Pembahasan Data Sintetik*

Perhitungan inversi untuk ketiga jenis sumber anomali diatas menggunakan persamaan (2.23) kemudian diubah menjadi bentuk fungsi:

$$q_c = f(q_i) \quad (4.1)$$

Dimana  $q_i$  adalah tebakan awal untuk *shape factor* dan  $q_c$  adalah *shape factor* hasil perhitungan. Proses perhitungan berhenti saat  $|q_c - q_i| \leq e$ , dimana  $e$  adalah bilangan *real* yang kecil mendekati nol. Tebakan awal *shape factor* untuk masing-masing anomali adalah 1,5 (untuk *sphere*), 1 (untuk *horizontal cylinder*), dan 0,5 (untuk *vertical cylinder*) dengan nilai  $e = 0,5$ . Variabel  $s$  yang merupakan jarak tertentu untuk nilai SP yang dipilih yang memiliki nilai  $e$  terkecil.

Nilai dari beberapa parameter yang didapat ( $q$ ,  $\theta$ ,  $z$ ,  $k$ ) selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai SP baru melalui proses *forward modeling*. Nilai SP baru (hasil perhitungan) dan nilai SP awal dihitung nilai *RMS error*-nya menggunakan persamaan (2.24) untuk melihat kesesuaiannya. Semakin kecil nilainya maka semakin bagus hasil inversinya untuk mewakili kondisi awal pada ketiga model sumber anomali yang dipakai, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Tabel 4.4 Perbandingan *RMS error* nilai SP untuk data sintetik

Kedalaman	<i>RMS error</i>		
	<i>Sphere</i>	<i>Horizontal Cylinder</i>	<i>Vertical Cylinder</i>
2	0.329	2.128	10.605
2.5	0.127	1.060	7.791
3	0.030	0.502	4.293
3.5	0.036	0.169	3.168
4	0.040	0.057	2.073
4.5	0.018	0.103	1.364
5	0.005	0.016	0.922

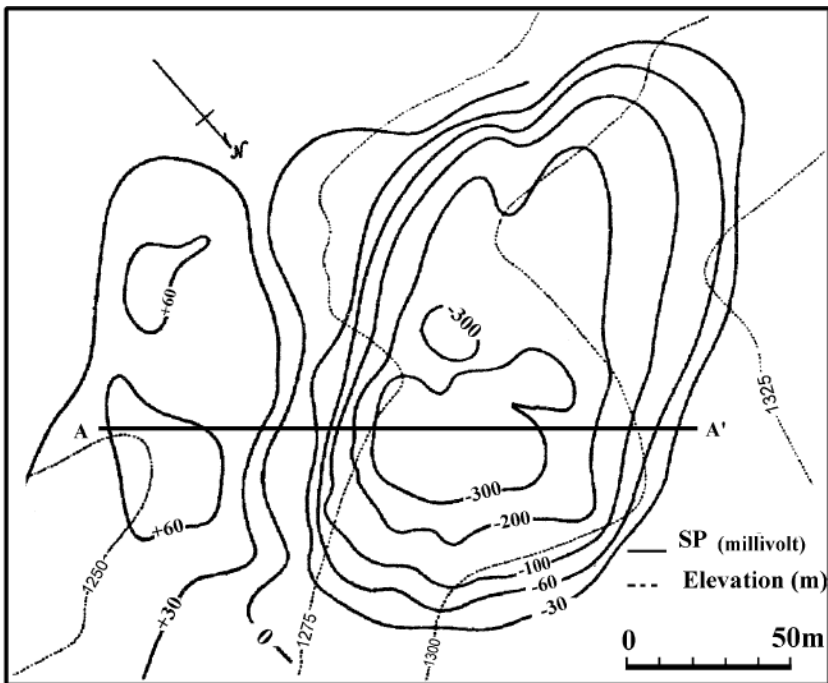
Pada ketiga sumber anomali yang digunakan, kecenderungan *RMS error*-nya menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman, hal ini dapat diakibatkan dari pemilihan nilai  $s$  ataupun dari proses pemodelan kedepan bagian kedua, yaitu yang dilakukan setelah hasil parameter anomalnya didapat dari proses pemodelan kedepan bagian pertama.

## 4.2 Analisis Data Sekunder

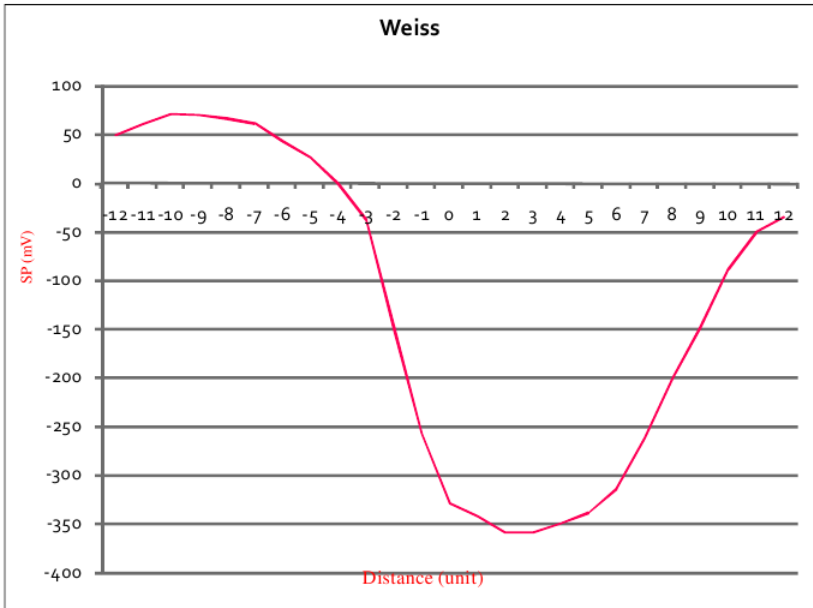
Data sekunder yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data anomali SP di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (*Weiss anomaly*) dan data anomali SP di daerah tanggul bendungan di British Columbia, Kanada yang digunakan untuk penilaian kondisi rembesan (*seepage*).

### 4.2.1 Data Sekunder 1

Data sekunder pertama adalah data anomali SP di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (*Weiss anomaly*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 (lintasan A-A') dan Gambar 4.5.



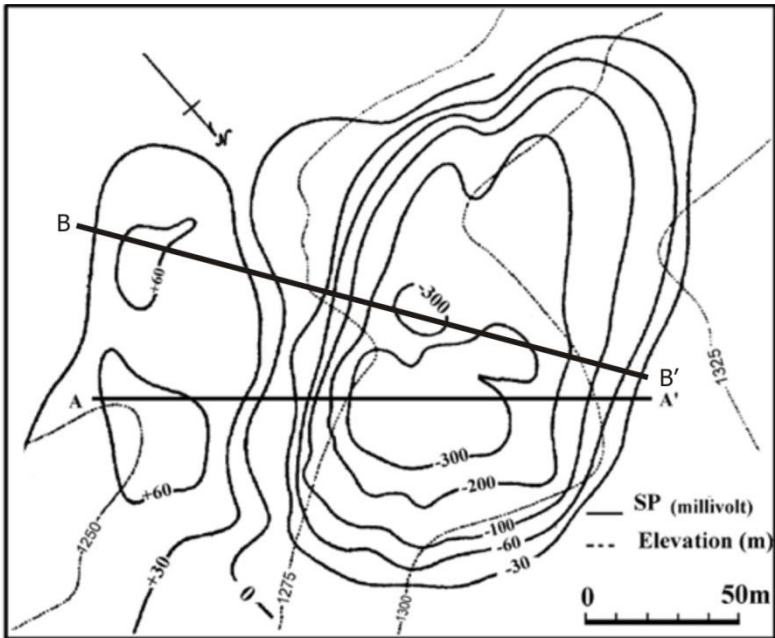
Gambar 4.4 Anomali Weiss, Ergani, Turki untuk data sekunder 1 (lintasan A-A') (Yüngül, 1950)



Gambar 4.5 Model anomali Weiss, Ergani, Turki (Hazra, 2010)

#### 4.2.2 Data Sekunder 2

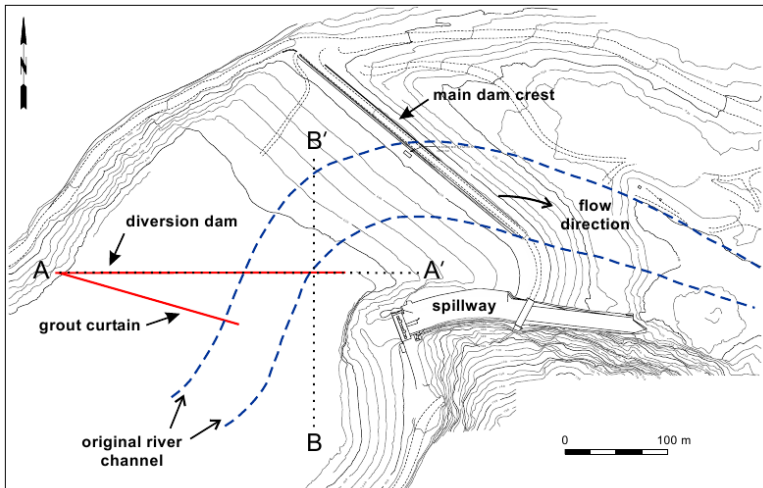
Data sekunder pertama adalah data anomali SP di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (*Weiss anomaly*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 (lintasan B-B').



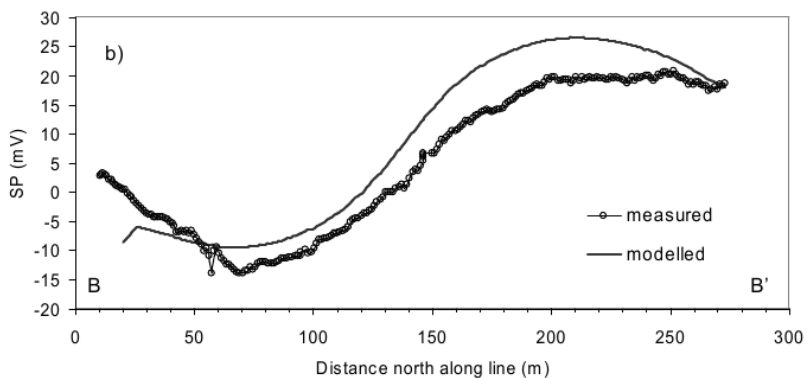
Gambar 4.6 Anomali Weiss, Ergani, Turki untuk data sekunder 2 (lintasan B-B') (Yüngül, 1950)

#### 4.2.3 Data Sekunder 3

Data sekunder yang kedua adalah data anomali SP di daerah tanggul bendungan di British Columbia, Kanada yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 (untuk peta lokasinya) dan Gambar 4.8 (untuk modelnya).



Gambar 4.7 Peta rencana dari lokasi tanggul bendungan yang menunjukkan ciri struktur utama dan lintasan survei A-A' dan B-B' di British Columbia (Sheffer, 2007)



Gambar 4.8 Model pengukuran dan perhitungan untuk data SP di permukaan bendungan dalam arah Utara-Selatan yang melintasi grout curtain (lintasan survei B-B ') (Sheffer, 2007)

#### 4.2.4 Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 1

Program MATLAB yang telah dibuat selanjutnya diaplikasikan pada data sekunder di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (*Weiss anomaly*) untuk mendapatkan parameter-parameternya. Profil anomali pada data sekunder 1 ini didijitasi sebanyak 25 titik dengan interval 7.7 m (lintasan A-A'). Nilai parameter yang didapatkan dilakukan juga perbandingan dengan beberapa metode yang sudah dilakukan untuk kasus ini (Tabel 4.5).

Tabel 4.5 Perbandingan parameter model dari anomali Weiss

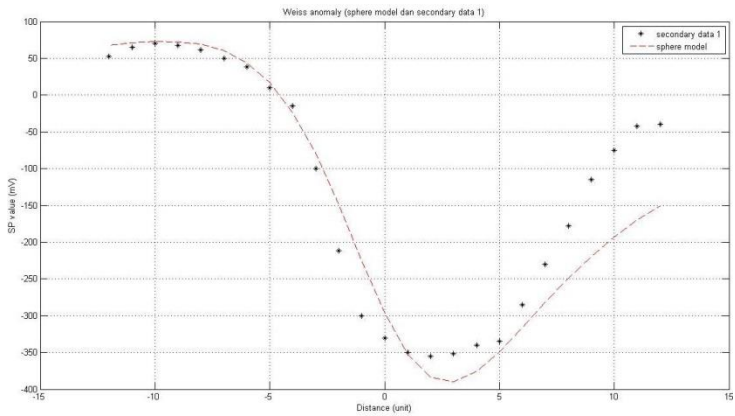
Nama metode	Kedalaman	Sudut polarisasi	Shape factor
Yungul (1950)	53.8 m	40°	1.5
Bhattacharya & Roy (1981)	54 m	30°	1.5
Abdelrahman (1996)	52.9 m	35.3°	1.5
Hazra (2010)	45.7 m	34.2°	1.67
<i>present method</i>	48.9 m	35.85°	1.54

Sebelum menentukan nilai *shape factor* untuk dibandingkan pada tabel diatas, proses inversi dilakukan dengan melakukan pendekatan untuk ketiga bentuk sumber anomali (*sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder*) dan perhitungan nilai *RMS error*. Hasil dari proses inversinya menunjukkan bahwa model bola (*sphere*) yang paling mendekati kondisi sekunder (sebenarnya) karena memiliki nilai *RMS error* terkecil (Tabel 4.6).

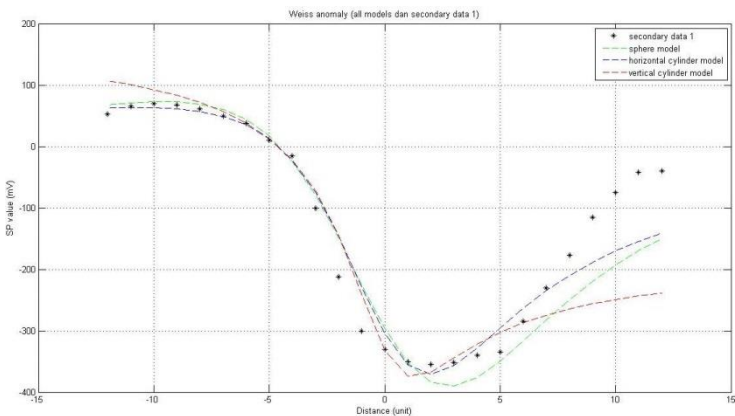
Tabel 4.6 Perbandingan *RMS error* untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 1

<i>Shape body</i>	<i>RMS error</i>
Sphere	37.97
Horizontal cylinder	45.51
Vertical cylinder	78.99

Hasil tersebut juga sesuai dengan Yüngül (1950) yang menyatakan bahwa anomali Weiss ini memiliki bentuk *spherical/sphere*. Untuk hasil pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Model anomali Weiss hasil pengukuran dan perhitungan (model *sphere*) untuk lintasan A-A'



Gambar 4.10 Model anomali Weiss, Ergani, Turki hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali untuk lintasan A-A'

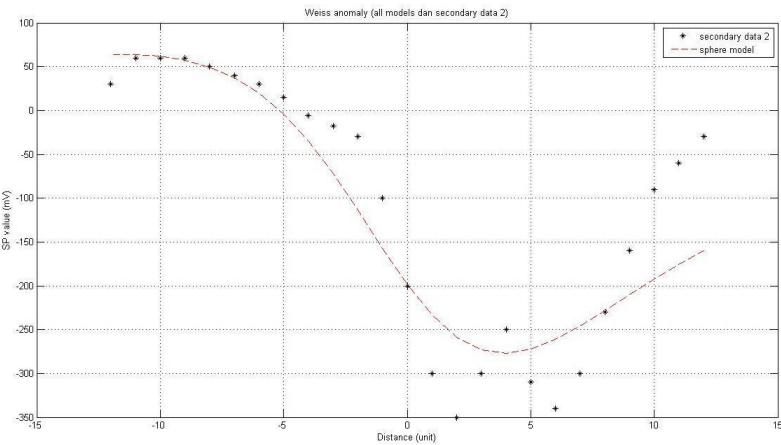
4.2.5 *Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 2*

Program MATLAB yang telah dibuat selanjutnya diaplikasikan pada data sekunder di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (Weiss anomaly) untuk mendapatkan parameter-parameternya. Profil anomali pada data sekunder 2 ini didijitasi sebanyak 25 titik dengan interval 8 m (lintasan B-B'). Nilai parameter yang didapatkan dilakukan juga perbandingan dengan beberapa metode yang sudah dilakukan untuk kasus ini (Tabel 4.7).

Tabel 4.7 Perbandingan *RMS error* untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 2

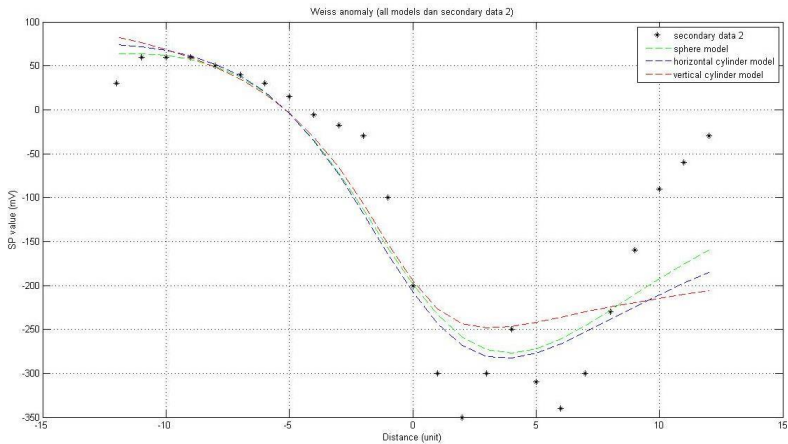
<i>Shape body</i>	<i>RMS error</i>
Sphere	40.49
Horizontal cylinder	44.33
Vertical cylinder	50.01

Hasil tersebut juga sesuai dengan (Yüngül, 1950) yang menyatakan bahwa anomali Weiss ini memiliki bentuk bola (*sphere*). Untuk hasil pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Model anomali Weiss hasil pengukuran dan perhitungan (model *sphere*) untuk lintasan B-B'





Gambar 4.12 Model anomali Weiss, Ergani, Turki hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali untuk lintasan B-B’

Alasan mengapa data sekunder 2 ini memakai daerah anomali yang sama adalah untuk mevalidasi bentuk geometri dari sumber anomali SP yang ada di daerah tambang tembaga di Ergani, Turki (*Weiss anomaly*) dengan menggunakan data nilai SP pada lintasan yang berbeda yang selanjutnya dilihat hasil inversinya apakah sama atau tidak dengan lintasan sebelumnya (lintasan A-A’). Nilai parameter yang didapatkan dilakukan juga perbandingan dengan beberapa metode lain (Tabel 4.8) yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.8 Perbandingan parameter model dari anomali Weiss

Nama metode	Kedalaman	Sudut polarisasi	Shape factor
Yungul (1950)	53.8 m	40°	1.5
Bhattacharya & Roy (1981)	54 m	30°	1.5
Abdelrahman (1996)	52.9 m	35.3°	1.5
Hazra (2010)	45.7 m	34.2°	1.67
<i>present method</i> – line A-A’	48.9 m	35.85°	1.54
<i>present method</i> – line B-B’	76.4 m	28.31°	1.50

#### 4.2.6 Pembahasan Penerapan Program MATLAB untuk Data Sekunder 3

Program MATLAB yang telah dibuat selanjutnya diaplikasikan pada data sekunder di daerah tanggul bendungan di British Columbia, Kanada untuk mendapatkan parameter-parameternya. Profil anomali pada data sekunder 3 ini didijitasi sebanyak 25 titik dengan interval 10 m. Selanjutnya, proses dilakukan inversi dengan melakukan pendekatan untuk ketiga bentuk sumber anomali (*sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder*) dan perhitungan nilai *RMS error*. Hasil dari proses inversinya menunjukkan bahwa model *sphere* yang paling mendekati kondisi sekunder (sebenarnya) karena memiliki nilai *RMS error* terkecil (Tabel 4.9). Nilai setiap parameter untuk anomali ini didapatkan dari hasil inversinya (Tabel 4.10).

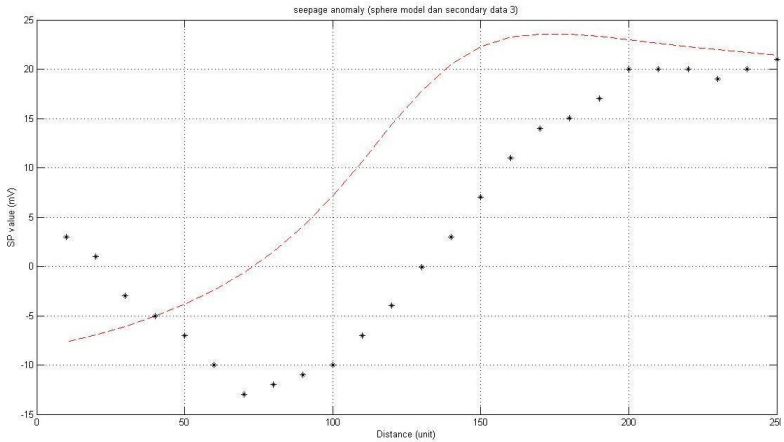
Tabel 4.9 Perbandingan *RMS error* untuk tiga bentuk anomali pada data sekunder 3

<i>Shape body</i>	<i>RMS error</i>
Sphere	93.82
Horizontal cylinder	42.86
Vertical cylinder	10.97

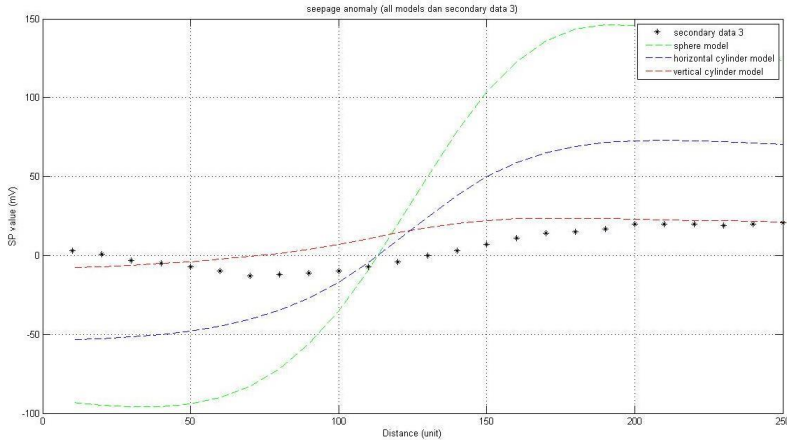
Tabel 4.10 Nilai parameter dari anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan di British Columbia, Kanada

Kedalaman (z)	<i>Shape factor</i> (q)	Sudut polarisasi ( $\theta$ )	Momen dipol listrik (k)
49.73 m	0.48	18.53°	22.03

Hasil tersebut sesuai karena anomali di daerah tanggul bendungan di British Columbia merupakan rembesan air yang berhubungan dengan kedalaman muka air tanah (*hydraulic head*), aliran air tanah di dalam struktur lapisan serta karena data sekunder ini hal yang menyebabkan anomalnya berupa potensial *streaming* (Sheffer, 2007). Untuk hasil pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Model anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan, British Columbia hasil pengukuran dan perhitungan (model *vertical cylinder*)



Gambar 4.14 Model anomali rembesan pada daerah tanggul bendungan, British Columbia hasil dari pendekatan ketiga bentuk sumber anomali

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah.

1. *RMS error* hasil pemodelan pada data sintetik untuk ketiga bentuk sumber anomali adalah dibawah 10%, hal ini membuktikan bahwa program yang dibuat sudah bisa diterapkan pada data sekunder.
2. Perbedaan kedalaman sebesar 27,5 m pada anomali Weiss disebabkan karena pada lintasan A-A' dan B-B' terdapat anomali yang berbeda, sedangkan untuk sumber anomalnya adalah *sphere* karena merepresentasikan mineral tembaga yang terdapat pada daerah tambang tersebut.
3. Sumber anomali pada data sekunder 3 di daerah British Columbia yang berupa *vertical cylinder* mengindikasikan adanya rembesan (*seepage*) yang terjadi pada tanggul bendungan tersebut dimana arah aliran sungainya dari Barat daya menuju Timur laut.

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil dan kesimpulan untuk membangun hipotesa-hipotesa selanjutnya adalah.

1. Untuk mendapatkan hasil inversi yang lebih baik dan *RMS error* yang kecil, dapat digunakan proses iterasi untuk mendapatkan nilai *shape factor* baru yang akan digunakan untuk proses inversi.
2. Perlu dilakukan pemodelan numerik dengan metode yang lainnya seperti *curve matching* atau *derivative analysis* sebagai pembanding untuk hasil inversi pada perhitungan parameter anomali SP-nya.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, E. M. et al., "A least-squares approach to shape determination from residual self-potential anomalies", *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 150, pp. 121-128, 1997
- Bhattacharya, B. B., and Roy, N., "A note on the use of nomogram for self-potential anomalies", *Geophysical Prospecting*, Vol. 29, pp. 102-107, 1981
- Dehbashi, M. dan M. M. Asl, "Determining Parameters of Simple Geometric Shaped Self-potential Anomalies", Vol. 7, pp. 79-85, Januari, 2014
- El-Araby, H. M., "A New Method for Complete Quantitative Interpretation of Self-potential Anomalies", Vol. 55, pp. 211-224, 2004.
- Hazra, A., "A FORTRAN code for quantitative interpretation of self potential anomalies", 8th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, 2010
- Makhrani, "Optimalisasi Desain Parameter Sekunder Untuk Data Resistivitas Pseudo 3D", Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, 2013
- Marshall, D.J., and T.R. Madden, "Induced polarization, a study of its causes", *Geophysics*, Vol. 24, pp. 790-816, 1959
- Minsley, B. J., "Modeling and Inversion of Self-Potential Data", B. S. Applied Physics, Purdue University, 1997
- Nourbehecht, B., "Irreversible thermodynamic effects in inhomogeneous media and their applications in certain geoelectric problems", Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1963
- Nyquist, J. E. dan Charles E. Corry, "Self-potential: The ugly duckling of environmental geophysics", *The Leading Edge*, Vol. 21, pp. 446-451, Mei, 2002
- Reynolds, J. M., "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics", Wiley, 2011
- Revil, A. dan Abderrahim J., "The Self-Potential Method: Theory and Applications in Environmental Geosciences", New York, Cambridge University Press, 2013
- Sato, M., and H.M. Mooney, "The Electrochemical Mechanism of Sulfide Self-Potentials", *Geophysics*, Vol. 25, pp. 226-249, 1960

- Satyanarayana Murty, B.V., dan P. Haricharen, "Nomogram for the complete Interpretation of spontaneous potential profiles over sheet-like and cylindrical two-dimensional sources", *Geophysics*, Vol. 50, pp. 1127-1135, 1985
- Sheffer, M. R., "Forward modelling and inversion of streaming potential for the interpretation of hydraulic conditions from self-potential data", The University Of British Columbia, 2007
- Srivastava, S., dan B.N.P. Agarwal, "Interpretation of self-potential anomalies by Enhanced Local Wave number technique", *Journals of Applied Geophysics*, Vol. 68, pp. 259-268, 2009
- Stumm, W., and J.J. Morgan, "Aquatic Chemistry, First Edition", John Wiley & Sons, New York, 1981
- Tambunan, C., "Metode Geofisika Potensial Diri (Self Potential)", <URL: <http://www.pusdiklat-minerba.esdm.go.id/index.php/kerjasama/item/353-metode-geofisika-potensial-diri-self-potential>>, September, 2015
- Telford, W. M., L. P. Geldart, dan R. E. Sheriff, "Applied Geophysics", Cambridge University Press, 1990
- Yüngül, S., "Interpretation of Spontaneous Polarization Anomalies caused by Spheroidal Ore Bodies", *Geophysics*, Vol. 15, pp. 237-246, 1950



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Penurunan persamaan (2.18)

Setelah mengganti  $\cot \theta$  di persamaan (2.9) dengan persamaan (2.17), sehingga didapatkan:

$$V(x_i, z, q) = V(0) z^{2q-1} \frac{x_i \frac{Pz}{sF} + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (1)$$

$$V(x_i, z, q) = V(0) \frac{z^{2q}}{sF} \frac{x_i P + sF}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2)$$

Menggunakan bentuk ekuivalen dari  $F$  yang diberikan pada persamaan (2.12), maka didapatkan:

$$V(x_i, z, q) = V(0) \frac{(s^2 + z^2)^q}{s} \left[ \frac{x_i P + sF}{(x_i^2 + z^2)^q} \right] \quad (3)$$

Selanjutnya mengganti  $z$  dengan persamaan (2.16), sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$V(x_i, q) = V(0) \frac{\left(s^2 + \frac{s^2 F^{1/q}}{1 - F^{1/q}}\right)^q}{s} \left[ \frac{x_i P + sF}{\left(x_i^2 + \frac{s^2 F^{1/q}}{1 - F^{1/q}}\right)^q} \right] \quad (4)$$

$$V(x_i, q) = V(0) \frac{[s^2(1 - F^{1/q}) + s^2 F^{1/q}]^q}{s} \times \left\{ \frac{x_i P + sF}{[x_i^2(1 - F^{1/q}) + s^2 F^{1/q}]^q} \right\} \quad (5)$$

Persamaan ini mengarah langsung ke persamaan (2.18).

## Lampiran 2. Penurunan persamaan (2.23)

Untuk mendapatkan turunan pertama dari persamaan (2.18)  $W(x, q)$  maka dibuat asumsi untuk mempermudah penurunannya, yaitu:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= (x_i P + sF) \\ \beta &= (s^2 + x_i^2) \\ \gamma &= x_i^2 \\ a &= s \\ b &= F \\ x &= q \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Sekarang didapatkan persamaan yang ekuivalen untuk  $W$  dalam fungsi dari variabel  $x$  sebagai ganti dari  $q$ :

$$W(x) = \frac{\alpha + a^{2x-1}}{(\gamma + \beta - b^{1/x})^x} \quad (7)$$

Untuk mendapatkan  $W' = dW/dx$ , pertama modifikasi persamaan diatas menjadi:

$$W[\gamma + \beta - b^{1/x}]^x = \alpha - a^{2x-1} \quad (8)$$

Aplikasikan logaritma untuk kedua sisinya sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$\ln(W) + x - \ln(\gamma + \beta - b^{1/x}) = \ln(\alpha) + (2x - 1) \ln(a) \quad (9)$$

Dengan menurunkan persamaan pada kedua sisinya, maka didapatkan:

$$\frac{1}{W} W' + x \left[ \frac{1}{(\gamma + \beta b^{\frac{1}{x}})} \left( \frac{-\beta b^{\frac{1}{x}} \ln(b)}{x^2} \right) \right] + \ln(\gamma + \beta b^{\frac{1}{x}}) = 2 \ln(a) \quad (10)$$

$$W' = W \left\{ 2 \ln(a) - \ln \left( \gamma + \beta b^{\frac{1}{x}} \right) - x \left[ \frac{1}{\ln \left( \gamma + \beta b^{\frac{1}{x}} \right)} \left( \frac{-\beta b^{\frac{1}{x}} \ln(b)}{x^2} \right) \right] \right\} \quad (11)$$

$$W' = \frac{\alpha - a^{2x-1}}{[\gamma + \beta - b^{1/x}]^x} \left[ \ln \left( \frac{a^2}{\gamma + \beta b^{1/x}} \right) + \left( \frac{\beta b^{1/x} \ln(b)}{x(\gamma + \beta b^{1/x})} \right) \right] \quad (12)$$

Persamaan (2.21) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\sum Y(x_i) W' = \sum V(0) W W' \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sum Y(x_i) W' - \sum V(0) W \frac{\alpha a^{2x-1}}{[\gamma + \beta b^{1/x}]^x} \ln \left( \frac{a^2}{\gamma + \beta b^{1/x}} \right) = \\ \frac{1}{x} \sum V(0) W \frac{\alpha a^{2x-1}}{[\gamma + \beta b^{1/x}]^x} \left( \frac{\beta b^{1/x} \ln(b)}{\gamma + \beta b^{1/x}} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$x = \frac{\sum V(0) W^2 \left( \frac{\beta b^{1/x} \ln(b)}{\gamma + \beta b^{1/x}} \right)}{\sum Y(x_i) W' - \sum V(0) W^2 \ln \left( \frac{a^2}{\gamma + \beta b^{1/x}} \right)} \quad (15)$$

Ganti semua simbol ke definisinya semula di persamaan (6) sehingga didapatkan persamaan (2.23)

### Lampiran 3. Kode MATLAB untuk pemodelan kedepan (*forward modeling*) untuk data sintetik

```
% Bayu Tambak Samudra (NRP: 3712100016)

%                               RF141501 - Tugas Akhir
%                               Jurusan Teknik Geofisika
%                               Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
%                               Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
%                               Surabaya 2016

% Forward Modeling of Self Potential (SP)
Method

% Model Parameters and Variables:
% q      = Shape factor (dimensionless)
% theta  = The polarization angle between the
axis of polarization
%         and the horizontal (in degree)
% k      = Electric current dipole moment (mV)
% z      = Depth (unit)
% x      = A discrete point along x-axis (unit)
% v      = SP value (mV)

% theta = 30 degree

% Equation:
%

$$v(x_i, z, \theta, q) = k \cdot ((x_i \cdot \cos(\theta) + z \cdot \sin(\theta)) / ((x_i^2) + (z^2))^{q/2})$$

clc,clear

%-----
% Anomaly profile Sphere (q=1.5)

q_1=1.5;
```

```

theta_1=30;
k_1=-100;
z_11=2;
z_12=2.5;
z_13=3;
z_14=3.5;
z_15=4;
z_16=4.5;
z_17=5;
x_1=-12:12;

A_11=x_1.*cosd(theta_1);
B_11=z_11*sind(theta_1);
C_11=x_1.^2;
D_11=z_11^2;
a11=A_11+B_11;
b11=C_11+D_11;
c11=a11./(b11.^q_1);
v_11=k_1*c11;

A_12=x_1.*cosd(theta_1);
B_12=z_12*sind(theta_1);
C_12=x_1.^2;
D_12=z_12^2;
a12=A_12+B_12;
b12=C_12+D_12;
c12=a12./(b12.^q_1);
v_12=k_1*c12;

A_13=x_1.*cosd(theta_1);
B_13=z_13*sind(theta_1);
C_13=x_1.^2;
D_13=z_13^2;
a13=A_13+B_13;
b13=C_13+D_13;
c13=a13./(b13.^q_1);
v_13=k_1*c13;

A_14=x_1.*cosd(theta_1);

```

```

B_14=z_14*sind(theta_1);
C_14=x_1.^2;
D_14=z_14^2;
a14=A_14+B_14;
b14=C_14+D_14;
c14=a14./(b14.^q_1);
v_14=k_1*c14;

A_15=x_1.*cosd(theta_1);
B_15=z_15*sind(theta_1);
C_15=x_1.^2;
D_15=z_15^2;
a15=A_15+B_15;
b15=C_15+D_15;
c15=a15./(b15.^q_1);
v_15=k_1*c15;

A_16=x_1.*cosd(theta_1);
B_16=z_16*sind(theta_1);
C_16=x_1.^2;
D_16=z_16^2;
a16=A_16+B_16;
b16=C_16+D_16;
c16=a16./(b16.^q_1);
v_16=k_1*c16;

A_17=x_1.*cosd(theta_1);
B_17=z_17*sind(theta_1);
C_17=x_1.^2;
D_17=z_17^2;
a17=A_17+B_17;
b17=C_17+D_17;
c17=a17./(b17.^q_1);
v_17=k_1*c17;

%-----
%   Anomaly profile Horizontal cylinder (q=1)

q_2=1;

```

```

theta_1=30;
k_1=-100;
z_11=2;
z_12=2.5;
z_13=3;
z_14=3.5;
z_15=4;
z_16=4.5;
z_17=5;
x_1=-12:12;

A_21=x_1.*cosd(theta_1);
B_21=z_11*sind(theta_1);
C_21=x_1.^2;
D_21=z_11^2;
a21=A_21+B_21;
b21=C_21+D_21;
c21=a21./(b21.^q_2);
v_21=k_1*c21;

A_22=x_1.*cosd(theta_1);
B_22=z_12*sind(theta_1);
C_22=x_1.^2;
D_22=z_12^2;
a22=A_22+B_22;
b22=C_22+D_22;
c22=a12./(b22.^q_2);
v_22=k_1*c22;

A_23=x_1.*cosd(theta_1);
B_23=z_13*sind(theta_1);
C_23=x_1.^2;
D_23=z_13^2;
a23=A_23+B_23;
b23=C_23+D_23;
c23=a13./(b23.^q_2);
v_23=k_1*c23;

A_24=x_1.*cosd(theta_1);

```

```

B_24=z_14*sind(theta_1);
C_24=x_1.^2;
D_24=z_14^2;
a24=A_24+B_24;
b24=C_24+D_24;
c24=a24./(b24.^q_2);
v_24=k_1*c24;

A_25=x_1.*cosd(theta_1);
B_25=z_15*sind(theta_1);
C_25=x_1.^2;
D_25=z_15^2;
a25=A_25+B_25;
b25=C_25+D_25;
c25=a25./(b25.^q_2);
v_25=k_1*c25;

A_26=x_1.*cosd(theta_1);
B_26=z_16*sind(theta_1);
C_26=x_1.^2;
D_26=z_16^2;
a26=A_26+B_26;
b26=C_26+D_26;
c26=a26./(b26.^q_2);
v_26=k_1*c26;

A_27=x_1.*cosd(theta_1);
B_27=z_17*sind(theta_1);
C_27=x_1.^2;
D_27=z_17^2;
a27=A_27+B_27;
b27=C_27+D_27;
c27=a27./(b27.^q_2);
v_27=k_1*c27;

%-----
%   Anomaly profile Vertical cylinder (q=0.5)

q_3=0.5;

```



```

theta_1=30;
k_1=-100;
z_11=2;
z_12=2.5;
z_13=3;
z_14=3.5;
z_15=4;
z_16=4.5;
z_17=5;
x_1=-12:12;

A_31=x_1.*cosd(theta_1);
B_31=z_11*sind(theta_1);
C_31=x_1.^2;
D_31=z_11^2;
a31=A_31+B_31;
b31=C_31+D_31;
c31=a31./(b31.^q_3);
v_31=k_1*c31;

A_32=x_1.*cosd(theta_1);
B_32=z_12*sind(theta_1);
C_32=x_1.^2;
D_32=z_12^2;
a32=A_32+B_32;
b32=C_32+D_32;
c32=a32./(b32.^q_3);
v_32=k_1*c32;

A_33=x_1.*cosd(theta_1);
B_33=z_13*sind(theta_1);
C_33=x_1.^2;
D_33=z_13^2;
a33=A_33+B_33;
b33=C_33+D_33;
c33=a33./(b33.^q_3);
v_33=k_1*c33;

A_34=x_1.*cosd(theta_1);

```

```

B_34=z_14*sind(theta_1);
C_34=x_1.^2;
D_34=z_14^2;
a34=A_34+B_34;
b34=C_34+D_34;
c34=a34./(b34.^q_3);
v_34=k_1*c34;

A_35=x_1.*cosd(theta_1);
B_35=z_15*sind(theta_1);
C_35=x_1.^2;
D_35=z_15^2;
a35=A_35+B_35;
b35=C_35+D_35;
c35=a35./(b35.^q_3);
v_35=k_1*c35;

A_36=x_1.*cosd(theta_1);
B_36=z_16*sind(theta_1);
C_36=x_1.^2;
D_36=z_16^2;
a36=A_36+B_36;
b36=C_36+D_36;
c36=a36./(b36.^q_3);
v_36=k_1*c36;

A_37=x_1.*cosd(theta_1);
B_37=z_17*sind(theta_1);
C_37=x_1.^2;
D_37=z_17^2;
a37=A_37+B_37;
b37=C_37+D_37;
c37=a37./(b37.^q_3);
v_37=k_1*c37;

%-----
%   Plot Grafik Forward Modeling (Masing-masing
%   Anomali)

```

```

plot(x_1,v_11,x_1,v_12,x_1,v_13,x_1,v_14,x_1,v_15,x_1,v_16,x_1,v_17)
grid on
xlabel('Distance(unit)')
ylabel('SP(mV)')
title('Forward Modeling (Sphere,theta=30°)')

%plot(x_1,v_21,x_1,v_22,x_1,v_23,x_1,v_24,x_1,v_25,x_1,v_26,x_1,v_27)
%grid on
%xlabel('Distance(unit)')
%ylabel('SP(mV)')
%title('Forward Modeling (Horizontal cylinder,theta=30°)')

%plot(x_1,v_31,x_1,v_32,x_1,v_33,x_1,v_34,x_1,v_35,x_1,v_36,x_1,v_37)
%grid on
%xlabel('Distance(unit)')
%ylabel('SP(mV)')
%title('Forward Modeling (Vertical cylinder,theta=30°)')

```

#### **Lampiran 4. Kode MATLAB untuk pemodelan kebelakang (*inverse modeling*) untuk data sintetik**

```

% Bayu Tambak Samudra (NRP: 3712100016)

% RF141501 - Tugas Akhir
% Jurusan Teknik Geofisika
% Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
% Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
% Surabaya 2016

```

```

% Inverse Modeling of Self Potential (SP)
Method

% Model Parameters and Variables:
% q      = Shape factor (dimensionless)
% theta  = The polarization angle between the
axis of polarization
%          and the horizontal (in degree)
% k      = Electric current dipole moment (mV)
% z      = Depth (unit)
% x      = A discrete point along x-axis (unit)
% v      = Anomaly value at the origin, x0 (mV)
% s      = Observation point
% vsp    = SP value at observation point s,
with xi=s (mV)
% vsn    = SP value at observation point s,
with xi=-s (mV)
% Y      = Observed SP anomaly values at xi
% x_0    = Distance at position xi=0

clear,clc
q=1.5; %(sphere=1.5; horizontal cylinder=1; or
vertical cylinder=0.5)
s=6; %(changeable)
xi=-12:12; %(depend on SP data)
Y=[0.386802516  0.433437702  0.486124616
0.544187527  0.604956601  0.66152077  0.698347241
6.83E-01      0.556279455  2.20E-01      -4.34E-01
-1.412829378   -2.469135802   -3.180992082
-3.334564962   -3.064648234   -2.618098265
-2.16175465   -1.765013908   -1.442398158   -
1.186869052    -0.985879967    -0.827384223    -
0.701496354    -0.600576301]; %(depend on SP
data)
x_0=13; %(depend on SP data)
v=Y(x_0); %(depend on SP data)
vsp=Y(x_0+s); %(depend on SP data)
vsn=Y(x_0-s); %(depend on SP data)

```

```

%F and P are known numerical values from
measured SP anomaly at x=0, x=s,
%x=-s ----> The solution for q instead of the
unknowns z and theta
F=(vsp+vsu)/(2*v);
P=(vsp-vsu)/(2*v);

%Formula for W
W=(s^(2*q-
1))*((xi.*P)+(s*F))./((xi.^2+(F^(1/q))*(s^2-
(xi.^2))).^q));

%The first derivative of W
AA=(xi.*P+s*F)-s^(2*q-1);
BB=(xi.^2+(s^2-xi.^2)-F^(1/q)).^q;
CC=s^2;
DD=xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q);
EE=(s^2-xi.^2)*(F^(1/q))*(log(F));
FF=q*(xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q));
AB=AA./BB;
CD=CC./DD;
EF=EE./FF;
Wd=(AB).*(log(CD)+(EF));

%Find q value
GG=v*(W.^2);
HH=rdivide((((s^2-
xi.^2).*(F^(1/q))*log(F)),(xi.^2+(F^(1/q))*(s^2-
xi.^2))));
II=Y.*Wd;
JJ=v*((W.^2).*(log(rdivide(s^2,(xi.^2)+(F^(1/q))*(
s^2-xi.^2)))));
qc=rdivide(sum((GG).*(HH)),sum(II)-sum(JJ))

%Find z, theta, k, and e
z2=(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(1-(F^(1/qc)))))
theta2=acotd((P/(s*F))*(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(
1-(F^(1/qc)))))
k2=v*((z2^(2*qc-1))/sind(theta2))

```

```
e=abs(qc-q)
```

**Lampiran 5. Kode MATLAB untuk pemodelan kebelakang (*inverse modeling*) untuk data sekunder 1**

```
% Bayu Tambak Samudra (NRP: 3712100016)

% RF141501 - Tugas Akhir
% Jurusan Teknik Geofisika
% Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
% Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
% Surabaya 2016

% Weiss anomaly, Ergani, Turkey

% Model Parameters and Variables:
% q = Shape factor (dimensionless)
% theta = The polarization angle between the
axis of polarization
% and the horizontal (in degree)
% k = Electric current dipole moment (mV)
% z = Depth (unit)
% x = A discrete point along x-axis (unit)
% v = Anomaly value at the origin, x0 (mV)
% s = Observation point
% vsp = SP value at observation point s,
with xi=s (mV)
% vsn = SP value at observation point s,
with xi=-s (mV)
% Y = Observed SP anomaly values at xi
% x_0 = Distance at position xi=0

clear,clc
q=1.5;
```

```

s=6;
xi=-12:12;
Y=[53    65    70    67.5    61    50    38    1.00E+01
-15 -1.00E+02 -2.12E+02 -300 -330 -350
-355 -352 -340 -335 -285 -230
-177.5 -115 -75 -42.5 -40];
x_0=13;
v=Y(x_0);
vsp=Y(x_0+s);
vsn=Y(x_0-s);

%25 points at an interval of 7.7 m (7.7 m /
unit)
int=7.7;

%F and P are known numerical values from
measured SP anomaly at x=0, x=s,
%x=-s ----> The solution for q instead of the
unknowns z and theta
F=(vsp+vsn)/(2*v);
P=(vsp-vsn)/(2*v);

%Formula for W
W=(s^(2*q-
1))*(((xi.*P)+(s*F))./((xi.^2+(F^(1/q))*(s^2)-
(xi.^2))).^q));

%The first derivative of W
AA=(xi.*P+s*F)-s^(2*q-1);
BB=(xi.^2+(s^2-xi.^2)-F^(1/q)).^q;
CC=s^2;
DD=xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q);
EE=(s^2-xi.^2)*(F^(1/q))*(log(F));
FF=q*(xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q));
AB=AA./BB;
CD=CC./DD;
EF=EE./FF;
Wd=(AB).*(log(CD)+(EF));

```

```

%Find q value
GG=v*(W.^2);
HH=rdivide((((s^2-
xi.^2).*F^(1/q))*log(F)),(xi.^2+((F^(1/q))*(s^2-
xi.^2))));
II=Y.*Wd;
JJ=v*((W.^2).*log(rdivide(s^2,(xi.^2)+(F^(1/q))*(s^2-xi.^2))));
qc=rdivide(sum((GG).*(HH)),sum(II)-sum(JJ))

%Find z, theta, k, and e
z2=(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(1-(F^(1/qc))))) *int
theta2=acotd((P/(s*F))*(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(1-(F^(1/qc)))))
k2=v*(((z2/int)^(2*q-1))/sind(theta2))
e=abs(qc-q)

```

## Lampiran 6. Kode MATLAB untuk perbandingan ketiga model sumber anomali dengan data sekunder 1

```

% Bayu Tambak Samudra (NRP: 3712100016)

% RF141501 - Tugas Akhir
% Jurusan Teknik Geofisika
% Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan
% Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
% Surabaya 2016

% Forward Modeling of Self Potential (SP)
Method

% Model Parameters and Variables:
% q = Shape factor (dimensionless)

```



```

%   theta = The polarization angle between the
axis of polarization
%           and the horizontal (in degree)
%   k       = Dielectric constant (dimensionless)
%   z       = Depth (unit)
%   x       = A discrete point along x-axis (unit)
%   v       = SP value (mV)

%   theta = 30 degree

%   Equation:
%
v(xi,z,theta,q)=k.((xi.cos(theta)+z.sin(theta))/
((xi^2)+(z^2))^q)

%-----

%   Weiss anomaly, Ergani, Turkey (hasil
inversi)

clc,clear
xi=-12:12;
Vob=[53 65 70 67.5 61 50 38 1.00E+01
-15 -1.00E+02 -2.12E+02 -300 -330 -350
-355 -352 -340 -335 -285 -230
-177.5 -115 -75 -42.5 -40];
Vevs=[67.85525494 70.83059408 72.65689341
72.47162259 68.98521742 60.34806956 44.07051931
17.13998672 -23.41278223 -79.22093452 -
148.608866 -224.8887351 -296.8018966 -
352.23968 -383.3969867 -389.5271503 -
375.620207 -348.9389358 -316.128734 -
281.9545678 -249.2668982 -219.4776721 -
193.0862438 -170.08217 -150.2060044];
Vevhc=[63.07155371 63.55109966 63.09398505
61.14675051 56.84869061 48.86417501 35.14959667
12.69855973 -22.51255897 -74.71958986 -
145.4753214 -228.2491053 -305.2343455 -
355.4701935 -370.301493 -356.9949768 -

```

```

328.687405 -295.6892148 -263.6203308 -
234.7854881 -209.7514582 -188.3315522 -
170.0791032 -154.5047028 -141.1599299];
Vevvc=[106.6093741 100.1787486 92.50397051
83.19536073 71.68901844 57.14383226 38.26378704
12.98787606 -22.03077671 -72.11371473 -
144.2852171 -240.0079971 -332.2613853 -
373.7826762 -367.2708373 -344.5420608 -
321.6456492 -302.4375219 -286.9800722 -
274.5701419 -264.5084717 -256.2422686 -
249.3589869 -243.5542269 -238.60227];

%A comparison of 3 models with secondary data 1
(plot 1)
plot(xi,Vob,'*black',xi,Vevs,'--
green',xi,Vevhc,'--blue',xi,Vevvc,'--red')

%A comparison of the most suitable model with
secondary data 1 (plot 2)
%plot(xi,Vob,'*black',xi,Vevs,'--red')

grid on
xlabel('Distance (unit)')
ylabel('SP value (mV)')

%Plot 1
title('Weiss anomaly (all models dan secondary
data 1)')
%Plot 2
%title('Weiss anomaly (sphere model dan
secondary data 1)')

```

Catatan : Untuk kedua data sekunder lainnya (data sekunder 2 dan data sekunder 3) kode MATLAB yang dipakai sama, bedanya hanya pada data *input*nya saja (nilai SP dan posisi pengukuran).

## PROFIL PENULIS



Bayu Tambak Samudra dilahirkan di Pemalang, 27 Februari 1994 dari pasangan Bapak Tarhadi dan Ibu Rochimah. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Ananda UT (1999-2000), kemudian dilanjutkan di SD Negeri Pamulang Indah hingga tahun 2006. Pada tahun 2006 sampai 2009 melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Pamulang. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 6 Tangerang Selatan melalui program percepatan (akselerasi) dari tahun 2009-2011. Setelah lulus SMA pada tahun 2011, penulis mengikuti bimbingan belajar di Nurul Fikri selama setahun dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012. Selama menjadi mahasiswa di ITS, penulis menghasilkan beberapa karya tulis, antara lain “Asesmen Patahan Aktif di Jawa Timur”, “Pemetaan Tingkat Resiko Bencana Erupsi Gunung Api Pada Kawasan Rawan Bencana 1 Kelud”, dan “Kenampakan Geologi di Kawasan Karst Pamekasan Utara Sebagai Evaluasi Awal Potensi Sumber Daya Alam”, serta pernah menjabat sebagai *Student Representative Council* (SRC) di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) periode 2014/2015. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di JOB Pertamina-Medco E&P Simenggaris dalam memetakan kontur kecepatan untuk Formasi Tabul di Kalimantan. Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir penulis, dapat menghubungi : bayutsamudra@gmail.com